

어류의 아가미의 조직학적 구조와 병변

허민도 · 정현도

부산수산대학교 어병학과

아가미는 체조직 중에서도 가장 섬세하고도 미묘하게 적응된 조직학적 구조를 갖고 있을 뿐 아니라 환경수에 직접 노출되어 있기 때문에 수중의 각종 생물학적 및 물리화학적 유해인자에 쉽게 영향을 받을 수 있는 곳이다. 아가미를 구성하는 조직성분중에서도 특히 이차새변상피는 단층 내지 두층의 얇은 상피세포로 구성되어 있어 효율적인 가스교환을 할 수 있게 하지만, 이러한 구조의 특수성이 오히려 각종 유해인자의 침입 또는 이들에 의한 손상을 쉽게 할 수 있다. 아가미는 호흡기능 뿐만 아니라, 장 및 신장과 함께 삼투압의 조절, 노폐물의 배설의 기능도 갖는다. 그러므로, 새변상피의 괴사나 비후와 같은 형태학적 변화는 호흡, 분비 및 배설기능의 장애를 야기할 수 있으므로 새변상피의 기능적 및 형태학적 유지는 무엇보다 중요하다 하겠다. 여기에서는 어떤 특정질병 또는 원인체에 관련된 병리조직학적 변화보다는 일반적으로 아가미조직의 조직학적 특수성을 우선 깊이 이해하고, 그 특성에 관련된 비특이적인 병리조직학적 변화를 중심으로 기술함으로써, 특정 원인체와의 병리조직학적 반응에 대한 보다 정확한 해석을 기하고자 이미 보고 및 출판된 정보를 토대로 하여 여기에 정리하였다.

Key Words : Teleost gill, Histological structure, Pathological lesion.

육상고등동물의 폐는 흉강내에 보호되어 있는 좌우양엽으로 된 공기호흡성(Air breathing)장기이며, 어류의 아가미는 앞쪽으로는 구강과, 뒷쪽으로는 인두에 접하면서 두부역저부의 공간내에 위치하는 좌우 쌍으로 된 수호흡성(Water breathing) 장기로 골격성의 조직인 새개(Operculum)에 보호되어 있다. 내전근(Adductor muscle) 및 외전근(Abductor muscle)에 의하여 호흡량의 조절이 이루어지며, 이차새변(Secondary lamella)은 폐에서의 폐포(Alveoli)에 해당하여 호흡성상피(Respiratory epithelium)로 덮여 있다. 폐는 호흡매질인 공기를 유도하는 기관 및 기관지를 가져 호흡성 상피로 이루어진 폐포로 수송되지만, 아가미의 경우는 아가미가 직접 환경수에 접하여 이차새변상피를 통하여 수중의 산소를 취한다. 혈액순환에 있어서는 폐는 우심실을 경유하여 폐동맥으로 부터 정맥혈을 받으나, 아가미는 심장의 유일한 출구인 동맥원추(Arterial cone) 또는 동맥구(Aortic bulb)로 부터 복대동맥(Ventral artery)을 경유하여

정맥혈을 받는다. 폐로부터의 산소포화 동맥혈은 다시 좌심실로 되돌아와 전신순환계로 이행하지만, 아가미에서는 동맥혈이 직접 심장으로 되돌려 지는 일 없이 배대동맥(Dorsal aorta)을 통하여 바로 전신순환을 한다. 폐의 경우는 기관의 점액 및 심모의 배출운동, 신경성 반사활동 등에 의하여 매질내 유해물질의 유입을 어느 정도 차단하지만, 아가미는 직접 환경수에 노출되어 거의 여과없이 호흡성 상피가 직접 수중유해물질에 노출되어 있다. 아가미조직은 호흡기능으로써의 역할 뿐 아니라 삼투압조절 및 배설기능을 갖고 있으므로, 아가미조직의 기능적 및 구조적 손상은 호흡장애, 삼투압조절장애 및 배설장애를 유발한다. 그러므로, 아가미조직의 특정 유해인자에 대한 병리학적 반응을 이해하기에 앞서, 그 정상적인 조직학적 구조의 특수성에 상관한 일반적인 병리학적인 반응의 과정을 깊이 이해해 둘 필요가 있다.

I. 아가미의 조직학적 구조

아가미는 인두의 측면 및 복면을 차지하고 호흡수의 흐름을 조절하며 아가미를 보호하는 골격성의 새개에 덮혀 있다. 아가미는 혈액과 환경수 사이에 산소 및 용해성 대사 노폐물인 CO_2 , NH_3 등을 단순확산(Simple diffusion)을 통하여 교환함으로써 호흡, 배설 및 삼투압 조절에 관여한다.

아가미를 구성하는 기본요소로는 새궁(Gill arch), 새파(Gill raker), 일차(Primary lamella) 및 이차새변(Secondary lamella) 및 내부의 주행혈관계이다. 경골어류에서 새궁은 4~5 쌍으로 되어 있으며, 각 새궁은 복측의 구강저부로 부터 인두강의 외측연을 따라 배측의 인두에 이르기까지 새궁의 배후측에 혼합성 골격(Mixed bone)인 기새골(Basibranchial), 하새골(Hypobranchial), 각새골(Ceratobranchial), 상새골(Epibranchial) 또는 인새골(Pharyngobranchial)의 5개의 뼈로 이루어진 궁상 또는 만곡형의 구조물이며, 후술하게 될 일차새변의 골격성 지지구조에 연결된다. 새궁을 구성하는 세포성분은 원래 복대동맥, 구강점막 및 두개에서 연속되는 골격 성분들이다. 새궁을 피복하고 있는 상피는 다시 구강점막 및 새변상피에 연결되어 있으며, 특히 일차새변의 기부의 상피는 두텁고 통상 점액세포가 다수 분포하며, 그외 구강측 상피에는 미뢰(Taste bud), 단생치(Acrodont teeth) 등을 볼 수 있다. 이 상피조직 특히 일차새변기부에 연하여 임파양조직이 차지하며, 많은 어종에서 세포질내 호산성과립을 함유한 대형의 세포가 다수 존재한다. 각 새궁의 전측연을 따라 점막하직은 광범위하며 다수의 혈관 및 지방세포가 존재한다. 그러나, 새궁의 외측을 따라서는 점막하직은 줄어들고 대신 소량의 치밀결합조직 및 약간의 횡문근성분이 차지한다. 한편 새궁의 내연에는 유두(乳頭)상의 새점막 돌출물인 2열의 새파가 있을 수 있으며, 이는 식물의 포착, 저작 및 새변보호에 관련된 구조물이다. 새파는 무세포성(Acellular bone) 또는 혼합성 골격(Mixed bone)으로 점막상피 및 단생치가 그 위를 피복하고 있다. 그리고 새궁내에는 복대동맥으로 부터의 입새동맥(Afferent

branchial artery)과 배대동맥으로 연결되는 출새동맥(Efferent branchial artery)이 있으며 모두 새궁골격의 복면에 위치한다. 입새동맥은 일차새변의 기저측에 위치하고, 출새동맥은 더욱 내면으로 위치하여 새궁골격에 근접하여 있다. 새궁동맥을 제외한 아가미내의 혈관벽은 매우 얇아 입새동맥의 경우 벽은 거의 내피세포로만 이루어져 있다. 반면에 입새동맥은 많은 평활근 성분이 혈관벽을 구성에 참여하여 가장 두터운 혈관이 된다.

각 새궁에는 새파가 접한 반대연에는 새궁을 따라 배복으로 배열된 긴 점막성의 빗살과 같은 모양의 구조물이 있어 이를 일차새변(Filament, Primary lamella)이라고 하고 그 유리연은 인접한 일차새변과 상접한다. 각 일차새변은 전후 두개의 새변이 근접하여 두열로 배열되어 있고, 전후새변은 새격막(Interbranchial septum)에 의하여 서로 연결되어 있다. 일차새변은 가늘고 긴 섬세한 구조이며, 새변의 내측은 중늑 또는 새변조(Gill ray)라 불리는 연골성의 지지구조가 있다. 이 중늑을 움직여 새변을 개폐하게 되는 중늑의 내측을 연결하는 내전근(Adductor muscle)과 중늑의 기부외측과 새궁골격사이를 연결하는 외전근(Abductor muscle)이 있다. 일차새변은 점액성 상피세포로 피복되어 있고, 새변상피가 차지하는 면적은 피부전표면적에 상응하여, 남은 체표면적의 약 10배정도에 이른다. 그러므로 어류의 체내항상성 유지에 새상피의 기능 및 구조는 상당히 중요하다고 할 수 있다. 새변상피는 극히 얇아 가스교환에 효율적이기는 하나 병원성인자의 공격을 특히 받기 쉬운 부분이기도 하다.

일차새변의 상피내 세포성분은 어종에 따라 그 수나 종류에 있어 차이는 있지만 임파구, 대식구, 호산성과립세포(Eosinophilic granular cell), 내피세포, 상피세포, 멜라닌세포, Rodlet 세포, X세포 등이 분포하고 다층편평상피(Stratified squamous epithelium)에 의해 피복되어 있다. 이들 세포는 특히 일차새변의 기부 및 첨부에서 다수 인정되며, 이 중 염류세포는 해산어류에 분포수가 많고, Cl^- , K^+ , Na^+ 등의 이온배설을 통하여 삼투압 조절에 관계하며, 이에 관계된 미토콘드리아의 분포에

기인하여 세포질은 호산성을 나타낸다. 한편 호산성과립 세포(Eosinophilic granular cell)가 일차새변을 따라, 새변조와 상피사이의 결합조직내에 분포하며 특히 일차 새변의 말단부 및 기부에 다수로 존재하지만 그 정확한 기능에 대하여는 불분명하다. 일차새변은 호흡을 위한 역할보다는 오히려 호흡성의 이차새변을 지지하는 역할이 더욱 중요하다고 할 수 있다. 새궁내에 위치하는 입새동맥에서 새변조에 평행으로 일차새변내측에 입새동맥(Afferent filamental artery)이 있고, 외측에는 이차새변을 경유한 신선혈액이 일차새변외측을 주행하는 출새동맥(Efferent filamental artery) 새궁의 출새동맥에 이어진다.

일차새변의 양면에는 반월형의 이차새변(Lamella, Secondary lamella)이 전후로 판상으로 돌출하여 있고, 혈액과 환경수간에 가스교환이 일어나는 호흡성 상피로 덮혀 있다. 이차새변의 표면은 호흡면적의 증가 및 분비 점액의 흐름 및 부착을 도우는 것으로 알려져 있는 지문양의 미세능선(Microridge)이 관찰된다. 최외층에는 단층 또는 두층의 편평상피세포층에 의해 피복되고 직하의 얇은 결합조직층과 기저막(Basement membrane)의 지지를 받는다. 기저막에 접하여 수축성을 갖는 벽주세포(Pillar cell)에 의하여 이차새변의 양유리면이 격리되고 이 세포는 9~10 μ m 간격으로 이차새변의 길이방향으로 배열되어, 산재하는 내피세포와 함께 형성하는 이 간격은 이차새변내 혈액의 유로인 광범위한 혈액유로(Blood channel)를 형성한다. 벽주세포의 세포질내에는 다수의 미토콘드리아와 미세한 수축성 섬유성분(Actomyosin filaments)으로 차 있으며, 외측의 기저막과 접한 곳에서 세포질테가 외측으로 길게 뻗어나와 마치 실 패모양을 하고 있다. 인접 벽주세포간에는 부착반(Desmosome) 및 폐쇄연접(Tight junction)에 의하여 서로 연결되어 있다. 가스교환에 관계되는 부분은 주로 벽주세포와 편평상피세포이며, 이들 세포의 얇은 세포질테(Cytoplasmic extension)가 환경수와 혈액간의 가스교환장소가 되며 일정한 호흡거리를 갖는다. 이 같이 구성된 이차새변의 두께는 혈압과 호흡수압의 변동에 의하여

일정하게 유지된다. 이차새변내에는 점액세포(Goblet cell), Rodlet 세포, X세포, 염류세포(Chloride cell) 등이 위치하며, 특히 인접한 이차새변 기부사이의 일차새변에 다수 분포하여 다층편평상피에 의해 피복된다.

II. 아가미의 병변

아가미는 경골어류를 구성하는 체조직 중에서도, 대단히 미묘하고 섬세한 구조를 가진 장기 중의 하나일 뿐 아니라, 외부에 직접 노출되어 있어 수중의 각종 용해성 및 비용해성 부유인자에 반응하여 손상받을 기회가 많다. 게다가, 아가미는 상기한 바와 같이 혈관공급이 풍부한 연유로 영양이 충분하기 때문에 외부기생충이 비교적 정착하기 좋은 장소가 될 수 있다. 아가미를 피복하는 새변상피는 박테리아, 바이러스 뿐아니라, 용해성의 단백질 항원을 쉽게 투과시키므로, 이들에 의한 국소성 및 전신성감염 유발의 가능성이 매우 높다. 아가미의 해부조직학적 구조에서 보듯이 상대적으로 아가미를 구성하는 조직성분들은 적기 때문에 병리학적 반응의 폭도 그다지 넓지 않다. 아가미조직 구조는 원인체의 유형 및 독성, 노출시간에 따라 다양한 반응을 보인다. 일반적으로 병변은 미만성이나, 원인체에 따라 특성의 세포, 특성의 부위 또는 특정 새궁에 한정되어 발생할 수 있다. 한정된 아가미영역에서 병변이 있다면, 혈류의 순환체계의 변화, 이차새변수의 증가 등의 보상기전으로 임상적으로 발견되지 않을 수 있다. 확장된 미만성의 병변에서는 호흡예비(Respiratory reserve)의 부족 내지 고갈을 초래하여, 유영 또는 대사와 같은 산소요구성 증가에 대응할 수 없게 된다. 일반적으로 형태학적 변화들은 기능 손상이 있는 훨씬 후의 일이므로, 아가미의 조직학적 변화들은, 각 세포 및 아가미 조직 전체수준에서 세포막의 투과성의 변화를 반영한다 할 수 있다.

급성병변의 초기 또는 저농도, 또는 저독성의 외인성 자극인자에 의하여 아가미는 새변상피세포의 종창(Swelling), 미세능선의 수포형성 또는 소실, 울혈(Congestion), 상피하직의 부종(Edema) 등을 들 수 있다. 각 새변세포의 초기변화로 상피세포 종창, 비대(Hypertrophy)에서 시작하여 각 2차새변의 두께가 증가가 일어나

고, 통상 새변표면의 점액세포에 의한 분비활동이 증가하게 된다. 이들 인자에 의한 자극이 지속되거나 더욱 심해지면, 새변상피는 부종(Edema), 증생(Hyperplasia) 또는 새변간유합(Lamellar fusion) 과정에 들어간다.

새변상피의 부종은 중금속, 살충제, 기생충 구제제 등의 화학적 오염원들에 기인되어 발생하는 경우가 가장 흔하다. 결국 호흡성의 일차 및 부중에 의하여 이차새변상피는 상피와 하부조직간의 격리(Epithelial lifting or separation)를 일으키고 상피세포는 괴사과정을 밟게되며 결국 치사적인 호흡장애 및 삼투조절 장애에 이를 수 있다. 아가미의 모세혈관망은 심장으로부터의 높은 동맥압을 유지하여 갑새동맥을 통하여 혈액을 공급받고 있어, 마치 신장의 사구체의 경우와 유사하다. 그러므로, 모세혈관의 투과성에 큰 변화가 없다고 하더라도 쉽게 모세혈관을 통한 과잉 여과상태가 야기될 수 있다. 간질성 상피부종(Interstitial epithelial edema)은 이러한 여과액의 과잉누출에 의한다.

그리고, 새변상피의 증생소견은 만성병변에서 주로 관찰되며 초기에는 원인체의 유형에 따라 다르지만 점액세포 및 염류세포수의 증가에서 시작되고, 결국 상피세포수의 증가가 일어나며, 단층 또는 이층으로 유지되어야 할 상피층이 다층으로 변화됨을 말한다. 이는 상피층의 말피지세포가 특히 저농도 또는 저독성의 어떤 원인체에 의하여 보다 장기간에 걸쳐 조직반응이 있었음을 시사하는 소견이다. 심한 상피증생은 이차새변의 유합이나 새변간 공간의 소실을 초래할 수 있고 CO₂의 교환율이 저하에 기인하여 호흡성산증(Respiratory acidosis)을 가져올 수 있다. 또한 증생성의 세포군은 주로 일차새변 유래이며, 점차 새변의 말초부로 이동해 가기 때문에 초기에는 상피세포들이 이차새변의 기저부 또는 기저부에 축적된 소견을 보인다. 이렇게 되면 호흡수가 통과하는 공간인 이차새변사이가 신생세포에 의해 채워지게 됨으로써 호흡거리의 연장, 급기야는 호흡가능상피역의 심각한 소실이 일어난다. 이 때 염류세포들은 이차새변의 표면에 까지 증식하여 있으며, 내부로 함몰된 모습이기도 보다는 표면위로 돌출하여 있다. 이 같은 소견은, 토양내

에서 유래한 아가미내의 알부미늄에 의하여 새상피를 통한 이온성분의 이동 및 염류세포의 기능을 손상시켜 발생할 수도 있다. 새변의 기저부 및 증생성 일차새변상피로부터의 분비점액 및 큐티클성분에 기인하여, 정상과는 경도가 다른 점성이 강한 피복층이 생길 수 있다. 이와 같은 현상은 그 자체로도 새변의 호흡에 장애가 될 수도 있으며, 박테리아에 대한 기질로도 이용될 수 있으므로 세균부착 및 증식의 장소로 제공될 수 있다.

한편, 이차새변의 유합(Fusion) 및 곤봉화(Clubbing) 소견은 증생소견이 심화된 결과로, 증생성 상피내의 대부분의 모세혈관이 용합되어 경화된 소견이다. 새변의 유합은 이차새변 상피세포의 세포질돌기가 돌출하여 인접새변의 것과 접촉하고 결국 폐쇄연접(Tight junction)을 통하여 결합된 것이다. 중금속 중독시에 유합은 24 시간내에 흔히 유발되며, 그 정확한 기전은 명확하지는 않으나 중금속이 상피세포를 정상적으로 피복하고 있는 점액내의 당단백(Glycoprotein)과 결합하여 상피의 음전하에 영향을 주어 유합을 위한 조건을 형성한다고 보고 있다. 저산소하에서 어류는 수면호흡하게 되는데, 이때 새변이 공기중에 노출되어 새변의 허탈(Lamellar collapse)을 유발함으로써 생길 수 있다. 원충류와 같은 기생충성 원인체에 의한 경우에는 증생소견은 심하지 않아도, 점액의 정도 변화와 점액의 계면활성도가 저하함에 따라 개개의 이차새변이 국소적으로 유착되는 경우도 있다. 원인체에 따라 유합 또는 증생부 병소의 위치 및 구성세포 등이 다를 수 있다. 어떤 원인에 기인하든 새변의 유합은 호흡수 흐름의 장애로 인한 호흡면적의 소실 뿐 아니라, 정상적으로 일어나는 새변상피의 탈락 경로를 교란함으로써 호흡기능을 더욱 악화시킬 수 있다. 이차새변의 증생이나 유합에 의하여 대부분의 호흡성상피가 소실된 경우라도 생리학적 영향에 대한 양적 효과를 판정한다는 것은 간단한 일이 아니다. 일반적으로 새상피의 기능변화는 고수온일때 더욱 악화될 수 있는 것으로 알려져 있다. 심한 아가미의 손상이 있는 물고기일지라도, 수온이 낮아 환경수내에 용존산소의 양이 높다면 오래 살 수 있으나, 반대로 수온이 높게 되면 용

존산소의 저하 뿐만 아니라, 어체의 대사율도 높아져 폐사에 이르게 할 수 있다. 이외 스트레스반응의 결과 분비되는 Catecholamine 류의 혈관에 대한 영향도 중요하다. 그러나 중증도의 증생성 아가미는 기능적 보상이 이루어질 수 있으며, 모든 증생성 및 수중성 새병변은 수질개선을 장기간 계속해 줌으로써 다시 회복할 수 있다.

새변의 맥류는 흔히 물리적 또는 화학적 인자에 의하여 발생하는 데, 정상적으로는 이차새변의 배면 및 복면을 지지해야 하는 벽주세포의 과열상을 볼 수 있다. 이것은 새변의 모세혈관이 확장되어 혈액이 충만되고 혈전(Thrombus)의 형성, 섬유화(Fibrosis) 및 인접새변과의 융합을 일으킬 수 있다. 이러한 맥류조건이 이차새변에 광범위하게 발생하였다면, 특히 고수온환경하에서 심각한 새변의 호흡기능의 장애를 유발한다. 이러한 맥류형성부에 다른 외상이 가해진다면 혈관의 과열로 인한 출혈로 폐사할 수 있다. 증생으로 부터의 회복 보다는 맥류의 재흡수에는 더욱 많은 시간을 요하는 것으로 되어 있다.

결 어

어류의 아가미는 호흡기능 뿐만 아니라, 체내의 삼투압조절, 배설에 적극적인 관여를 하고 있다. 아가미의 상피는 직접 환경수에 노출되어 있을 뿐 아니라, 박테리아, 바이러스, 기생충 및 진균과 같은 생물학적 요인이 정착 또는 투과하기 좋은 조직학적 구조를 갖고 있기 때문에 질병의 일차적 감염경로로써 중요하다. 게다가 아가미의 상피는 환경적 요인 및 감염원에 대한 반응과정을 조기에 반영하므로 아가미의 조직학적 기본구조에 대한 이해는 질병의 병리조직학적 진단상 중요하다 하겠다.

새변상피를 피복하는 점액의 물리화학적 역할이나, 세포성 및 액성면역 등의 방어기작이 존재하여 정상적인 수중환경에 대응하고는 있으나, 인공적 사육환경 즉 밀집사육, 약제의 남용 또는 오용, 수질의 변화 또는 오염, 영양적 불균형, 스트레스 등의 체내외적인 요인에 의하

여 이러한 방어벽은 타 조직보다 쉽게 파괴될 수 있고 아가미의 다양한 기능으로 볼 때 보다 치명적일 수 있다. 또한 아가미의 혈액순환은 포유류와는 달리 바로 체순환으로 돌리지므로 특히 세균이나 바이러스에 의하여 형성된 아가미의 병소는 혈류를 통한 이차적인 전신감염으로 쉽게 이행할 수 있다. 그러므로 아가미에 대한 조직학적 구조 및 병변에 대한 보고는 다른 조직에 비하여 비교적 상세히 되어 있다. 다만, 어류에서 특이한 세포성분인 호산성과립구(Eosinophilic granular cell), X세포, Rodlet세포의 분포의 등에 관하여 불분명한 부분도 있어, 앞으로 이에 관한 연구는 아가미의 기능상에 따른 아가미의 병리조직학적 반응을 이해하는데 있어 기대되는 부분이라 할 수 있겠다.

참 고 문 헌

- Dellmann, H. D. : Respiratory system In "Text book of veterinary histology"(edited by Dellmann, H. D. and Brown, E. M.) pp. Lea & Febiger, Philadelphia. 187~203. 1976.
- Eller, L. L. : Gill lesions in freshwater teleosts In "The pathology of fishes(edited by Ribelin, W. E.)" pp. 305~330.
- Ferguson, H. W. : Gill and pseudobranchs In "Systemic pathology of fish." pp. 11~40. Iowa State University Press/Ames. 1989.
- Groman, D. B. : Respiratory system In "Histology of the striped bass." pp. 40~47. American Fisheries Society, Maryland. 1982.
- Harder, W. : The respiratory organs In "Anatomy of fishes." pp. 287~305. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 1975.
- Hibiya, T. : Gills In "An atlas of fish histology." pp. 54~57. Kodansha Ltd. Tokyo. 1982.
- Roberts, R. J. : Pathophysiology and sytematic pathology of teleosts In "Fish pathology." pp. 67~79.

2nd ed., Bailliere Tindall, London, 1989.

落合 明：魚類解剖學. pp. 113~134. 緑書房. 1987.

The histological structure and the pathological lesions of gill in teleosts

Min Do Huh and Hyun Do Jeong

*Department of Fish Pathology, National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea*

The delicate histological structure of gill in teleosts can be easily affected by a variety of biological, chemical or physical detrimental agents because it is directly exposed to the surrounding water. The epithelium of secondary lamella is thin to allow efficient gaseous exchange and this also renders it particularly vulnerable to various pathogens. As well as the main respiratory role, the gill has other various important functions such as acid-base balance, osmoregulation or the excretion of nitrogenous waste products. Thus destruction of epithelial integrity such as epithelial necrosis or thickening can render a fish very vulnerable to respiratory, secretory and excretory difficulties. This article was tried to describe in detail the common processes of pathological responses correlated to the normal histological structures of the gill in teleosts.