ヒト,及び各種実験動物における視神経篩板の立体構造

ートリプシン消化標本の走査電顕による観察-(図13)

福地 健郎・沢口 昭一・白柏 基宏 _(新潟大学医学部眼科学教室) 黒沢 明充・岩田 和雄

The Three Dimensional Structure of the Optic Nerve Lamina Cribrosa in a Normal Human Eye and the Eyes of Several Experimental Animals

> Takeo Fukuchi, Shoichi Sawaguchi, Motohiro Shirakashi Akimitsu Kurosawa and Kazuo Iwata

Department of Ophthalmology, School of Medicine, Niigata University

要 約

ヒト,及び諸種実験動物視神経篩板の立体構造をトリプシン消化法(Emery ら1974)と走査電顕を用いて観察した.ヒト,サル,ネコの視神経篩板は互いに類似しており,それらの強膜篩板は連続する結合組織性のシートによってできていた.篩板表面には約400個の pore が存在し, pore は後方に連続して laminal channel を形成していた.イヌは篩板表面に結合組織性のシートを持ち,そこには約250個の pore が開いていた.しかしそれは後方にある軟膜中隔の結合組織と類似していた.ウサギ,モルモット,ラットも篩板類似の構造を持っていたが,それは紐状の結合組織でできていた.これらの篩板を3つの型に分類した.1)発達良好型;ヒト,サル,ネコ.2)発達不良型;ウサギ,モルモット,ラット.3)中間型;イヌ.実験動物を用いた眼圧上昇による軸索輸送障害の研究では,動物による篩板構造の違いを十分考慮に入れる必要がある.(日眼 91:1272—1280, 1987)

キーワード:視神経篩板,走査電顕,実験動物,トリプシン消化法

Abstract

We examined the three-dimensional structure of the scleral lamina cribrosa in a normal human eye and the eyes of several experimental animals, using a trypsin digestion technique (1974 Emery et al) and scanning electron microscopy. The scleral lamina cribrosas of human, monkeys and cats resembled each other. They consisted of succesive sheets of connective tissue with about 400 openings within the anterior surface of the lamina cribrosa. These openings continued posteriorly to laminal channels. Dog eyes had a sheet of connective tissue on the anterior surface of the lamina cribrosa which had about 250 pores. These were also continuous to the pial septa posteriorly. Rabbit, marmot, rat eyes had lamina cribrosa-like structures, which were formed by the fine codrs of connective tissue. From these findings, we classified lamina cribrosas of the human and the experimental animals into three types. 1) Well developed type; human, monkey, cat. 2) Poorly developed type; rabbit, marmot, rat. 3) Intermediate type; dog. To evaluate the effect of elavated interocular pressure on the axonal transport of experimental animals, the structural defferences of the lamina cribrosa among these animals should be taken into consideration. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 91: 1272-1780, 1987)

Key words : Lamina cribrosa, Scanning electron microscopy, Experimental animals, Trypsin digestion technique

I 緒 言

現在,緑内障における視神経障害の初発部位はヒト 緑内障眼での病理組織学的検討^{1)~3)}や primate を用い た実験緑内障眼による研究⁴⁾⁵⁾から視神経篩板とくに 強膜篩板部であると考えられている.また緑内障に特 有な視神経障害は篩板の構造上の特徴とその部位特異 性によるとの考え方が新しい機械説として注目されて いる.サルの隅角をレーザー照射し作製した実験緑内 障眼では Bjerrum 領線維の入る耳側上下で篩板の横 崩れが強いことが岩田⁴⁾により報告されている.

また,動物実験で眼圧を上昇させた場合軸索輸送の 障害がこの部位で起こることについて既に多くの報告 がある⁵¹¹³⁾⁻²¹¹.それらの結果によると眼圧上昇時の障 害の程度は動物種によりかなりの差がみられ る¹⁶⁾⁻²¹¹.従ってこの差の原因のひとつとして動物種に より視神経篩板の構造が異なることが考えられる.

しかし,緑内障における視神経障害において視神経 篩板が重要視されているにもかかわらず,その構造, とくに立体構造をヒト以外の動物で系統的に調べた研 究はほとんどみられない.ヒトに関しては Emery ら⁸⁾ はトリブシン消化法を初めて視神経篩板に応用し,正 常眼および緑内障眼について篩板の結合組織性の立体 構造について示した.また Quigley³⁾は同様の方法を用 いてヒト篩板では nasal, temporl に比較して superior, inferior で pore が大きく,結合組織成分が乏し い傾向があることを示している.今回は、ヒトの視神 経篩板の特徴および機能上の重要性を知るための基礎 的な研究として、また緑内障の視神経障害に関する動 物実験の結果を評価する上での参考として諸種の動物 について視神経篩板の立体構造をトリブシン消化標 本³⁾⁸⁾と走査電顕を用いて比較・観察した.

II 実験方法

1. 材料

ヒトの眼球は78歳男性より、上顎癌のため当院耳鼻 科で眼窩内容除去術を施行され摘出された正常な右眼 を用いた。

実験動物眼としてサル(日本ザル; Macaca fuscata):2匹2眼, ネコ(雑種):2匹3眼, イヌ(雑 種):2匹3眼, ウサギ(日本白色家兎):3羽3眼, モルモット(天竺ネズミ;Cavia porcellus): 2 匹 4 眼, ラット(Wistar 系;Rattus morvegius): 2 匹 4 眼を用いた.

2. 標本作製方法

走査電顕の標本作製には Emery らの方法®)に準じ たトリプシン消化法を用いた. つまり, 眼球はすべて 摘出後5%フォルマリン緩衝液で固定した。まずレー ザー・プレードで視神経を眼球後方約3~5mmの部分 で切断し, 視神経乳頭とその周囲組織を約5~7mmの 大きさで切り出した.特にモルモット,ラットを除く 5種については篩板断面を観察するためにこの段階で レーザー・プレードを用いて視神経乳頭に対して垂直 に半分に切断した. 流水で一昼夜洗った後, 蒸留水に 2~3時間浸した. つづいて3%トリプシン-0.15M トリス緩衝液中に入れ室温下(20℃)で8時間、イン キュベーター中(37℃)で4時間,神経組織の消化を 行った。さらに蒸留水中に2~3時間浸した後、実体 顕微鏡下で観察しながら注意深く篩板前面に残った網 膜血管および乳頭表層の毛細血管を手術用鑷子と剪刀 を用いて切除,神経線維をやわらかい筆等で除去した. 4%グルタール・アルデヒドで1時間、1%オスミウ ム酸で冷却・振盪しながら2時間,後固定を行い,エ タノール系列により脱水しさらに酢酸イソアミルに置 換した. これを液状炭酸ガスで臨界点乾燥しイオン コーターを用いて金のスッパターコーティングを施し t.

以上のようにして作製した標本を日立430型走査型 電子顕微鏡で観察した。

III 結 果

1. ヒト;ヒトの視神経乳頭は約1.5×1.5mm で,約 400個の円形~楕円形の pore をもつ結合組織のシー ト(Fig. 1, 2)が10数層重なって篩板を形成していた (Fig. 3).トリプシン消化標本では視神経篩板のうち 脈絡膜篩板 (lamina choroidalis)は標本作製中に取り 除かれるため強膜篩板 (lamina scleralis)のみが観察 された.強膜篩板は強膜乳頭縁の約中央部1/3と連続し て認められた.神経線維束の通過する管 (laminal channel)は密に重なったシートの連続する pore に よってできており,その直径は10~100 μ m であった (Fig. 3). laminal channel は篩板内で集合したり枝分



Fig. 1,2 ヒト, 78歳男性, 右眼半切した耳側 (Fig. 1), 鼻側 (Fig. 2). 視神経強膜篩板の表層は結合組織性のシートをなし、φ約10~100μmの pore が硝子体腔側に開口している. pore の部位特異性については明らかではなかった.



Fig. 3同,断面.約10層のシートが密着して厚さ約 140~160 μ mの強膜篩板を形成している(二).pore は連続して laminal canal を形成している(\leftarrow →). この laminal canal は篩板表層に対して傾いてい る.

かれしているものが認められた. 篩板全体の厚さはこ の標本では140~160μm であった. またシート1層の 厚さは約5~20μmで,結合組織線維により上下のシー トは互いに連続していた. 篩板の結合組織は篩板後部 の軟膜中隔へと連続していた. 軟膜中隔の結合組織成 分は篩板部のそれに比べ疎であるため両者の境界は明 瞭である. 球後視神経では神経線維の一部が消化され ずに残っていた.

この標本では視神経乳頭の12時の部位を中心に陥凹 がみられ篩板シートは軽い横ずれを示しており, laminal channelが乳頭面に対して傾いているのが認 められた.またこれまで示されてきたような篩板の部 位特異性についてはこの標本では明らかではなかっ た.

2. サル;サルの視神経乳頭は約1.4×1.0mm でや や縦長の楕円型をしていた.やはり400~500個の pore を持つ結合組織のシートが重なって篩板を形成してい た. pore の直径は15~80 μ m であった. 位置も強膜乳 頭縁の中央部1/3に連続しており基本的な形態はヒト に非常に良く似ている. 篩板の部位特異性については 明らかに乳頭黄斑線維束の通過する耳側では pore が 小さく結合組織が豊富であった. pore が鼻側で大きい ことは明らかであったが耳側上下は切断面に当たり pore が明瞭ではなく比較は困難であった(Fig. 4, 5). 全体に laminal channel を作る篩板の結合組織はヒト に比べ薄い. またシート 1 層の厚さも5~15 μ m とうす



Fig. 4,5 サル, 左眼半切した耳側(Fig. 4), 鼻側(Fig. 5). ヒトとよく似ているが pore は ϕ 15~18µm と やや小さい.



Fig. 7 ネコ, 左眼. ϕ 約10~50 μ m とやや小さいが明瞭な pore が硝子体側に開いている. pore の大きさ に明らかな部位特異性は認められない. 中心血管は 認められず, 乳頭周辺部より侵入してきている(→).

く全体でも80~100µm とうすい (Fig. 6).

3. ネコ;ネコの視神経乳頭は約0.80×0.85mm で ほぼ円形をしていた. やはり350~400個の pore を持



Fig. 6 同, 断面. シートが重なりあって強膜篩板を形成している点でその形態はヒトとよく似ている (二).しかし,その厚さは80~100µmと薄く一層毎のシートも薄い.



Fig. 8 同, 右眼耳側断面. 厚さ約40~60µm でシート が密に重なった篩板が認められる(二). pore は連続 して laminal canal を形成している (←→).

つ結合組織のシートが重なってできていた. pore の直 径は10~50 μ m であった. pore は小さめでヒト, サル とくらべその一つ一つが境界明瞭であった. pore の大





Fig. 9 イヌ, 左眼. *ϕ* 約10~100µm の pore が硝子体 側に開いている. pore から消化されずに残った神経 線維が見られる (→).

きさの部位特異性については明らかではなかった (Fig. 7). 一方, 断面を観察するとシート1層の厚さは $3\sim12\mu$ mとヒトに比べ薄いが, 明らかにシートが密に 重なって篩板を形成していた(Fig. 8). 篩板全体の厚 さは約40~60 μ m であった. やはり結合組織成分の基 本的な形態はヒト, サルと良く類似していた. しかし, ネコでは中心動脈・中心静脈をもたず血管は視神経乳 頭周辺部から侵入してくる点が大きく異なっていた (Fig. 7).

4. イヌ;イヌの視神経乳頭は約1.10×1.15mm で ほぼ円形をしていた. 硝子体腔側から観察すると 10~100µmの pore が約250個開いているのが認めら れた. pore 一つ一つの境界はネコにくらべ不明瞭で あった. 消化されずに残った神経線維が多数見られた (Fig. 9). 断面を観察するとイヌには結合組織のシー トが重なりあった明らかな篩板の構造は認められず, 硝子体腔側にわずか2~3層重なり合う程度であった (Fig. 10). それらは軟膜中隔組織へと連続しその境界 は不明瞭であった. また, その最表層は強膜のレベル と一致せず硝子体腔側に突出していた.

5. ウサギ:ウサギの標本は有髄神経線維が消化さ れにくく,また視神経乳頭上の膜状の結合組織も消化 されにくいため多くの成分が残り,篩板部分の細かい 構造や詳細な周囲との関係については観察不可能で



Fig. 10 同,右眼耳側断面.シートが重なり合った構造は見られない.あるとしても表層2~3層と思われる (↓).



Fig. 11 ウサギ,右眼. 神経線維と中心部の膜状物が 消化されず詳細の観察は困難. poreの形成は見られ ない. 周囲組織から紐状の線維が延びて神経線維を 隔てている (→).

あった. 視神経乳頭の直径は1.30×1.85mm. 篩板に相 当する部分はシート状の構造とは異なり、細い紐状の 結合組織成分が神経線維束を隔てていた. 断面の観察 でも明らかな篩板構造は認められなかった(Fig. 11).

6. モルモット;視神経乳頭は約0.3×0.3mm. 薄い 結合組織が pore 様のものを形成しており篩板類似の 構造が認められたが,明らかなシートは認められな かった.硝子体腔側から観察しうる範囲で層の重なり も認められなかった (Fig. 12).

7. ラット; 視神経乳頭は約0.3×0.3mm. やはり篩 板類似の構造が認められた. 乳頭下方より血管が侵入 してくるがその周囲から紐状の結合組織が放射状にひ ろがっている. 明らかなシート層の重なりも認められ ない. 標本では表面に細い線維状の結合組織が認めら れるが,これは視神経乳頭表層の毛細血管と思われる. それらが篩板様の組織内に侵入していくのが観察され た (Fig. 13).

(注)(例;21×4NM=21×10⁴nm=210µm, V;硝子
体腔側,L;強膜篩板,ON;視神経側,S;上方,I;



Fig. 12 モルモット,右眼.薄い結合組織によって pore 様の形態が作られている.



Fig. 13 ラット, 左眼, 下方から侵入してくる血管の 周囲から放射状に紐状の結合組織が広がっている.

下方, T;耳側, N;鼻側)

(尚,乳頭径の比較のために,硝子体側から撮影した写 真はほぼ同倍率によっている.)

IV 考 按

現在, 視神経篩板はヒト緑内障眼についての病理組 織学的検討^{1)~3)}や primate を用いた実験緑内障眼によ る研究4)5)から緑内障性視神経障害の初発部位と考え られている. 緑内障性視神経障害の発症原因として血 管説23)と機械説24)が対立し、とくに機械説ではヒト篩 板の結合組織性の構造やその部位特異性がその発現に とって重要な役割を果たすと考えられている. Quigley ら³⁾, Radius ら¹¹⁾¹²⁾はヒト, サルの篩板は temporal, nasal にくらべ superior, inferior で pore が大き くそれを取り巻く結合組織が少ない傾向があり、部位 によってその眼圧に対する強度に差があるものと推定 した. Quigley ら²⁾は視野異常が認めていないヒト緑内 障眼ですでに篩板シートの圧縮が起きていることを示 しており、岩田は4)隅角のレーザー照射によって作製 したサルの緑内障眼で障害の著しい Bjerrum 領線維 の入る耳側上下でその篩板の横崩れが強いことを報告 している.

一方,眼圧上昇時にこの部位で軸索輸送が障害され ることについては既に数多くの報告がある5)13)~22).現 在,この事実と緑内障性視神経障害との因果関係が強 く示唆されている. これらの研究はおもに動物実験的 に行われており、その動物としてサル5)13)~16)20)、ネ コ⁹⁾¹⁰⁾. ウサギ^{17)~19)21). イヌ²²⁾などが用いられている.} その結果から眼圧上昇時の軸索輸送障害の実態は動物 種によってかなりの違いが存在することが分かる。例 えば scintillation counting を用いた実験で、その高速 輸送成分について Quiglev ら16)がサルでは潅流圧30 mmHg以下の高眼圧でも3時間でその障害は認めら れず,それ以後に出現し約60%減少すると示したのに 対し,千原17),佐久川18),沢口ら19)はそれぞれウサギで は眼圧上昇後速やかにその障害が出現するがそれは 20%程度にとどまると報告している。一方,低速輸送 成分について Levy は20)はサルでは眼圧上昇に対して sensitive と述べているのに対して、沢口²¹⁾はウサギで は篩板の部位での障害はほとんど認められなかったと 報告している。この種による違いの原因としてまず第 一に、①篩板の構造および構成要素の違い、②篩板を 通過する神経線維が無髄神経線維か有髄神経線維かの 違いなどが関係している可能性が考えられる. 篩板の

160 - (1278)

結合組織性の立体構造を観察することによってこれら の前者,とくに篩板の支持組織としての意味とその眼 圧上昇時の軸索輸送障害との関連を諸種の動物につい て検討することを目的に今回の観察を行った.

Duke-Elder⁶⁾⁷⁾は視神経篩板は動物種によって大き な variation があり、リス、ネコ、サルなど"good day vision"の哺乳類では膠原線維が豊富であり発達良好 だが、ウサギ、ラット、マウスなど"poor visual capacity"の種では膠原線維の篩板は存在しないとしてい る、今回、私達はヒト、サル、ネコ、イヌ、ウサギ、 モルモット、ラットについて視神経篩板の立体構造を 走査電顕によって観察したが,確かにその構造は動物 種により大きく異なっていることが明らかとなった. 私達の結果でも視機能の良好な動物ほど明らかに篩板 の構造が発達していた. ヒト, サル, ネコは互いに類 似しており、ほぼ強膜中央部約1/3に連続して結合組織 性のシートが密に重なりあった篩板を形成していた. pore は連続して明瞭な管状を成し、この部を通過して 眼窩部へ移行する視神経線維束の支持組織として重要 な役割を果たしていることが推定された。イヌは硝子 体腔側から観察すると結合組織のシートに多数の pore が開いており、一見ネコなどに類似していたがそ の断面を観察すると意外にもシートが密に重なった構 造は殆ど認められず, 軟膜中隔様の疎な結合組織が続 いていた。また、シートの最表層は強膜のレベルとは 一致していなかった. ヒト, サル, ネコでは無髄神経 線維が篩板を通過し, 篩板後部との境界部で有髄化す るのに対して、イヌの網膜神経線維は乳頭表層で有髄 線維となり篩板を通過する22).イヌの篩板構造がヒト, サル、ネコと異なるのはおそらくこのことと関連があ り,発生段階における篩板構造と有髄神経線維との密 接な関係が推測される。一方,篩板が存在しないとい われる6)7)ウサギ,モルモット,ラットにも篩板様の構 造が認められた。断面の観察が行われていないためそ れが本当に篩板と呼べるものかどうかは明らかではな い、しかしこれらはヒト、サル、ネコで観察された結 合組織性のシートとは明らかに異なっており紐状の線 維によって神経線維はおおまかに隔てられているのみ と考えられ、その線維もまばらであることから支持組 織としてはかなり脆弱であることが推定された。以上 の所見からこれらヒトと6種の動物の篩板を次のよう に分類した.

発達良好型:ヒト, サル, ネコ 発達不良型:ウサギ, モルモット, ラット 中間型:イヌ

ヒト、サル及びネコは篩板の構造が似ていることよ り眼圧上昇に対する視神経の抵抗性および軸索輸送障 害のパターンなどが互いに類似していることが考えら れる.縁内障に関する動物実験にはヒトとの類似性と いう意味ではやはりサルが最も適している. また, ヒ トの篩板はサル、ネコと比べかなり厚いことから眼圧 の上昇に対しても格段の抵抗性を持つことが推定さ れ. 緑内障に関する動物実験でしばしば使われている サル4)5)12)~16), ネコ9)10)での結果をヒトに当てはめる場 合この点十分考慮する必要がある. さらに、ネコは中 心血管を持たないことから視神経乳頭の毛細血管の分 布もヒトとは異なることが想像され眼圧上昇時にこの 部位で起こる軸索輸送障害がヒトと同じパターンで起 こるかそれとも違ったパターンであるか興味ある問題 である。一方、イヌでは構造自体が異なりまたこの部 位を通過する神経線維が異なることから眼圧上昇に対 する影響はヒトとはかなり異なったものであることが 予想される、ウサギ、モルモット、ラットの視神経篩 板は紐状で脆弱であり眼圧上昇に対する抵抗性は非常 に低いことが推定された.

ここで、これまでおおくの報告があるサルとウサギ について検討する。 慢性眼圧上昇眼ではサルの場合, 持続する眼圧上昇によって進行性に篩板の変形があ り、その結果軸索は機械的に圧縮されやすいことが推 定され,低速軸索輸送成分が眼圧上昇に対して sensitive というのも十分考えられることである²⁰⁾. 一方ウ サギでは眼圧上昇で篩板が変形を受けてもすぐ緩み軸 索輸送が障害されても解除されやすいとする低速成分 の輸送障害は認められなかったという沢口の報告21)と 一致している.一方,急性眼圧上昇眼ではサルの場合 篩板は潅流圧30mmHg までは眼圧に対する抵抗性を 持つため軸索輸送の高速成分は維持され16)、ウサギは 篩板での抵抗性が弱いため眼圧上昇後速やかに障害が 出現すること17)~19)が推定できる. ウサギでもその障害 が篩板の部位で起きていることから軸索が機械的圧縮 を受けにくいとしてもそれは篩板の変化によるものと 考えなければならない. しかし一方で Beagle 犬がウ サギに似た障害パターンを示すとの報告22)があること からウサギの軸索輸送障害に関してはこの部位を通過 する神経線維が有髄神経線維である点を考慮する必要 があると考えられる.

以上のように,眼圧を上昇させた場合このような 様々な動物の篩板がどのような変化を示すか,またこ の部位でどのようなパターンの軸索輸送障害が起こる かということは非常に興味深い問題である。この点は 緑内障性視神経障害の原因機構を考える上で貴重な参 考となると考えられる。

V 結 語

1. ヒトおよび諸種の動物について視神経篩板の立 体構造をトリプシンによる消化標本と走査電顕を用い て観察し、その構造上の特徴について検討し、眼圧に 対する抵抗性および眼圧上昇時の軸索輸送障害との関 連について考察した.

2. 材料はヒト眼球およびサル,ネコ,イヌ,ウサギ, モルモット,ラットの6種の動物眼を用いた.また, 標本の作製は Emery らのトリプシン消化法によって おこない,日立430型走査型電子顕微鏡にて観察した.

3. ヒト, サル, ネコの篩板は互いに類似しており, 視神経乳頭の直径0.8~1.5mm で約400個の pore を 有するシート状の結合組織が10数層密に重なって篩板 を形成していた. イヌは直径約1.1mm で約250個の pore を有する結合組織のシートは認められたが明ら かな層形成は認められなかった. ウサギはシート状の 構造とは異なり紐状の細い線維が神経線維束をへだて ていた. モルモット, ラットにも紐状類似の篩板類似 の構造が認められた.

4. 以上の結果からこの7種の篩板を次のように分類した.

発達良好型:ヒト, サル, ネコ 発達不良型:ウサギ, モルモット, ラット 中間型:イヌ

5. これらの篩板にたいして眼圧を上昇させた場合, ヒト,サル,ネコは互いに類似した動態を取ることが 推測された. 緑内障研究における動物実験にはやはり サルが最も適している. イヌは篩板の構造が異なり通 過する神経線維がすでに有髄線維であることから以上 の3種とは異なることが推測された.ウサギ,モルモッ ト, ラットの篩板は脆弱であり眼圧に対する抵抗性は 非常に低いことが推定された.

文 献

- Quigley HA, Addicks EM, Green R, Maumenee AE: Optic nerve damage in human glaucoma II. The site of injury and susceptibility to damage. Arch Ophthalmol 99: 635-649, 1981.
- Quigley HA, Hohman RM, Addicks EM, Massof RW, Green WR: Morphologic

changes in the lamina cribrosa correlated with neural loss in open-angle glaucoma. AM J Ophthalmol 95: 673-691, 1983.

- 3) Quigly HA, Addicks EM: Regional differences in the lamina cribrosa and their relation to glaucomatous optic nerve damage. Arch Ophthalmol 99: 137-143, 1981.
- 岩田和雄:原発開放隈角緑内障の初期病態. 臨眼 39:407-424, 1985.
- 5) Gaasterland D, Tanishima T, Kuwabara T: Axoplasmic flow during chronic experimental glaucoma I. Light and electron microscopic studies of the monkey optic nerve head during development of glaucomatous cupping. Invest Ophthalmol Vis Sci 17: 838-846, 1978.
- Duke-Elder Sir S: System of Ophthalmology, vol 1, The Eye in Evaluation (Reprinted): Henry Kimpton, London, 487–489, 1976.
- Tansley K: Comparison of the lamina criblosa in mammalian spiecies with good and with indifferent vision. Brit J Ophthalmol 40: 178 -182, 1956.
- 8) Emery JM, Landis D, Paton D, Bonick M, Craig JM: The lamina cribrosa in normal and glaucomatous human eyes. Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol. 78: 290-295, 1974.
- Radius RL, Bade B: The anatomy at the lamina clibrosa in the normal cat eye. Arch Ophthalmol 100: 1658–1660, 1982.
- Radius RL, Bade B: Axsonal transport interruption and anatomy at the lamina criblosa. Arch Ophthalmol 100: 1661–1664, 1982.
- Radius RL, Gonzales M: Anatomy of the lamina cribrosa in human eyes. Arch Ophthalmol 99: 2159-2162, 1981.
- 12) Radius RL: Regional specificity in anatomy at the lamina cribrosa. Arch Ophthalmol 99: 478-480, 1981.
- 13) Anderson DR, Hendrickson A: Effect of interocular pressure on rapid axonal transport in monkey optic nerve. Invest Ophthalmol 13: 771-783, 1974.
- 14) Quigley HA, Anderson DR: Distribution of axonal transport blockade by acute interocular pressure elevation in the primate optic nerve head. Invest Ophthalmol Vis Sci 16: 640, 1977.
- 15) Minckler DS, Bunt AH, Johannson GW: Orthograde and retrograde axoplasmic transport during acute ocular hypertension in the monkey. Invest Ophthalmol Vis Sci 16: 426 --446, 1977.
- 16) Quigley HA, Guy J, Anderson DA: Blokade

of rapid axoplasmic transport effect of interocular pressure elavation in primate optic nerve. Arch Ophthalmol 97: 525-531, 1979.

- 17) Chihara E, Honda Y: Analysis of orthograde fast transport and nonaxonal transport along the optic pathway of albino rabbit duaring increased and decreased intraocular pressure. Exp Eye Res 32: 229-239, 1981.
- 18) 佐久川政尚,千原悦夫,遠山 茂,本田孔士:実験 的急性緑内障の家兎視路における orthograde axoplasmic transport に与える影響. 眼臨 76: 1325-1328, 1982.
- 沢口昭一:実験急性眼圧上昇の白色家兎視路の Fast Axonal Transportへの影響.日眼 91: 487-493, 1987.
- 20) Levy NS: The effect of elevated intraocular pressure on slow axonal protein flow. Invest

Ophthalmol 13: 691-695, 1974.

- 沢口昭一:実験的眼圧上昇の白色家兎視路の Slow Axonal Transport への影響、日眼 90:321 --327, 1986.
- 22) Williams LW, Gelatt KM, Gum GG, Samuelson DA, Merideth RE: Orthograde R apid axoplasmic transport and ultrastructural changes of the optic nerve part I. Normotensive and acute ocular hypertensitive beagles. Glaucoma 5: 117–128, 1983.
- Hayrey SS: Inter-individual variation in blood supply of the optic nerve head. Documenta Ophthalmol 59: 217-246, 1985.
- Quigley HA: Glaucoma 2, Pathophysiology of the Optic Nerve in Glaucoma. Butterworth International Medical Reviews, 30-53, 1986.