

人眼毛様小帯の強度と毛様体の加齢変化

西川 真平, 沖坂 重邦

防衛医科大学校眼科学教室

要 約

剖検で得られ固定した30眼(30歳未満7眼, 60歳代15眼, 85歳以上8眼)を用い, 水晶体を後方から牽引し毛様小帯の強度を測定し, 更に毛様小帯除去後の毛様体表面構造の加齢変化を組織病理学的に調べた. 毛様小帯が断裂するのに要する加重は30歳未満では 49.1 ± 8.0 gm, 85歳以上では 35.3 ± 8.2 gmで, 統計的に有意差を認めた($p < 0.01$). 毛様小帯の断裂部位は, 若年齢群では主に毛様体側であるのに対し, 高年齢群では水晶体側であった. 毛様体ひだ部および前部扁平部にみられた隆起と溝は, 若年齢群では規則的であったのに対し, 高年齢群では不規則で, 溝の幅が太くなる傾向が認められた. 後部扁平部では高年齢群においては刺状の突起構造が毛様小帯の走行に沿って水晶体方向に傾いた様相を呈していた. 以上の毛様小帯および毛様体に起っていた加齢変化は調節によって毛様小帯および毛様体に長年にわたり調節のための負荷が加わった結果であると考えられる. (日眼会誌 96: 721-730, 1992)

キーワード: 毛様小帯張力, 毛様体, 加齢変化, 組織病理学, 調節

The Tension of Zonule and Ageing Changes of Ciliary Bodies

Shinpei Nishikawa and Shigekuni Okisaka

Department of Ophthalmology, National Defense Medical College

Abstract

The zonular tension was studied in thirty fixed autopsy eyes (7 eyes under 30 years old, 15 eyes seventh decade and 8 eyes over 85 years old) by pulling the lens backward, and the surface structure of the ciliary body was studied histopathologically following the removal of zonular fibers. The tension for breaking zonules was 49.1 ± 8.0 gm in younger age group, and 35.3 ± 8.2 gm in older age group. The zonules in the younger age group was statistically stronger than those in the older age group ($p < 0.01$). This breaking occurred at the region adjacent to the ciliary body in the younger age group, but at the region adjacent to the lens in the older age group. The internal surface of the pars plicata and the anterior pars plana was characterized by regular meridional ridges and grooves in the younger age group but was irregular in older age group. In the older age group, grooves among the ridges were wide. In the posterior pars plana, spine-like structure was observed leaning parallel toward the lens along the course of zonular fibers. These ageing changes of zonules and ciliary body may depend on the load for the accommodation. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 96: 721-730, 1992)

Key words: Zonular tension, Ciliary body, Ageing changes, Histopathology, Accommodation

別刷請求先: 359 所沢市並木3-2 防衛医科大学校眼科学教室 沖坂 重邦

(平成3年10月15日受付, 平成4年1月23日改訂受理)

Reprint requests to: Shigekuni Okisaka, M.D. Department of Ophthalmology, National Defense Medical College, 3-2 Namiki, Tokorozawa-shi 359, Japan

(Received October 15, 1991 and accepted in revised form January 23, 1992)

I 緒 言

調節は毛様体筋の収縮によって毛様小帯の緊張低下が起り、水晶体皮質の弾性により水晶体の厚みが増加されることによって行われるとされ、年齢とともに調節力が減退し、老視が起るとされている¹⁾²⁾。加齢による調節力の低下に関係する組織は、水晶体、毛様体、毛様小帯の3つである。水晶体については年齢とともに核が硬化し、弾力性のある皮質が減少することによりおこるとされ³⁾、Fincham⁴⁾は水晶体嚢の弾性の低下を重要視している。Fisher⁵⁾は若年者の水晶体嚢の強度は高齢者の4倍であるとしている。毛様体については、毛様体筋の収縮力の低下が考えられている⁷⁾。しかし、加齢に伴う調節幅の低下が明らか⁸⁾50歳でも毛様体筋の収縮は15歳のそれとほとんど変わりがなく⁹⁾、毛様体筋の萎縮がみられる70歳以前では毛様体筋の加齢変化が加齢に伴う調節力低下の主要原因になるとは考えにくいと、水晶体の因子が大きいとされている。これに反し、毛様体、水晶体に比べ、毛様小帯の加齢変化、張力に関しては十分な研究がなされていない。

今回、我々は剖検眼を用い、水晶体を後方より牽引し、毛様小帯の加齢による張力の変化を測定し、合わせて毛様体表面構造の加齢変化も観察し、興味ある所見を得たのでここに報告する。

II 対象および実験方法

1. 対象

剖検で得られた30眼、すなわち30歳未満(若年齢群)7眼、60歳代15眼、85歳以上(高齢年齢群)8眼を対象とした。剖検眼は2%グルタルアルデヒド、2.5%ホルマリン混合液(pH 7.2 燐酸緩衝液)中に4~5年固定されていた。赤道部で眼球を前後に2分し、実体顕微鏡観察下で水晶体と毛様小帯が良く保存されているものを選び、虹彩後癒着の強いものや、眼球が変形しているものは除外した。

2. 毛様小帯強度の測定

赤道部で半切された前半分の水晶体後面に強力接着剤で径5.0 mmのプラスチック円板を接着し、円板の中央に通したナイロン糸の他端に受皿をつるし1分間に10.0 gmの割合で水滴を滴下することにより加重をかけて牽引し(図1)、毛様小帯が断裂するまでの加重を調べた。角膜側を角膜の曲率半径と合致したプラスチックのすりばち状のくぼみに強力接着剤で固定

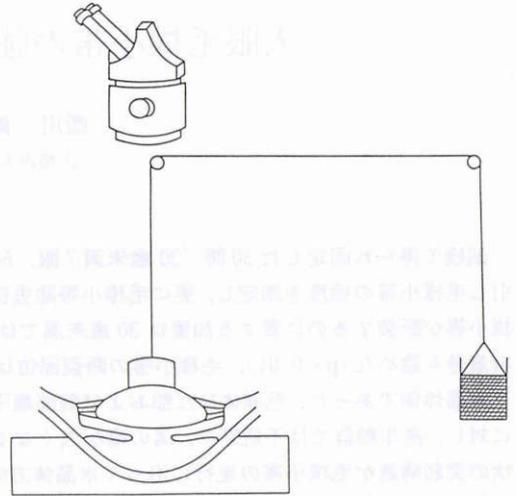


図1 水晶体牽引装置模式図。

し、側面2方向、および顕微鏡下に垂直に牽引しているのを確かめた。また毛様小帯の離断の起りはじめてから、水晶体の完全に脱臼するまでの時間を測定した。牽引開始より水晶体脱臼まで毛様体、毛様小帯、水晶体を顕微鏡下でビデオ撮影し、毛様小帯の断裂の状態を観察した。

3. 組織病理学的観察

水晶体除去後の前半分の眼球を放射状に3分割した。その1分画は、トリミング後エタノール系列で脱水、メサクリレート樹脂(JB4)に包埋し、厚さ5 μ mの切片を作成し、アズールII染色後、光学顕微鏡で観察した。また他の1分画は強角膜除去後、エタノール系列で脱水、酢酸イソアミル浸透後、炭酸ガス臨界点乾燥を行い、真空中で金を蒸着して毛様体内面を走査型電子顕微鏡で観察した。また、残りの1分画は、実体顕微鏡下で硝子体および毛様小帯を除去後、毛様体表面の微細構築を走査型電子顕微鏡で観察した。

III 結 果

1. 毛様小帯張力の測定

後方からの水晶体牽引により、毛様小帯が断裂するのに要する加重を図2に示す。加重の平均値および標準偏差は、30歳未満では 49.1 ± 8.0 g、60代では 41.9 ± 10.0 g、85歳以上では 35.3 ± 8.2 gであった。30歳未満の群に対し、85歳以上の群では1%の危険率で有意に毛様小帯の張力の低下を認めた。30歳未満と60代、および60代と85歳以上間は、5%の危険率では有意に差異は認められなかったものの、加齢とともに

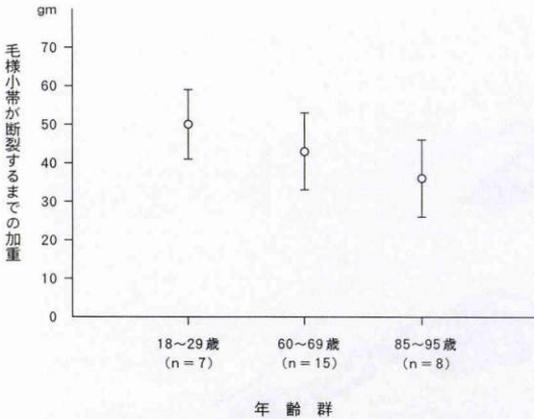


図2 各年齢群における毛様小帯の強度。

表1 毛様小帯の離断の起りはじめてから、水晶体の完全に脱臼するまでの平均時間と標準偏差

年齢群	時間	p値
30歳未満	6.2±4.5 秒	p<0.05
60代	3.1±2.5 秒	
85歳以上	1.9±1.5 秒	

毛様小帯の張力が低下する傾向を認めた。

ビデオ観察下に、毛様小帯離断の起りはじめてから完全に毛様小帯が断裂するまでの時間(秒)を表1に示す。85歳以上の群では、30歳未満の群に比べ5%の危険率で有意に毛様小帯の張力が低下していることが判明した。

毛様小帯が切れはじめる時の顕微鏡下ビデオ撮影の1コマを図3に示す。若年齢群では毛様小帯は主に毛様体側で断裂をきたすものが多かったのに対し、高年齢群では水晶体側で断裂するものが多い傾向を認めた。特に高年齢群では、毛様体側で断裂をきたすものは1眼もみられなかった。

2. 光学顕微鏡的観察

高年齢群では毛様小帯は毛様体上皮に強く付着していた(図4)。若年齢群の無色素上皮細胞は毛様体ひだ部から扁平部にかけて正方形または円柱状であるが、高年齢群では中部扁平部から後方では著明に扁平化し、水晶体方向に強く傾斜していた。若年齢群でも後部扁平部では水晶体方向に傾斜している部位が一部認められた(図5)。

高年齢群では、主に突起の谷の方において無色素上皮細胞の表面が不規則な構造を呈していた(図6)。若年齢群では突起の谷の方において無色素上皮が色素上皮から剝離した部分が認められた。高年齢群では無色素上皮の内面が波状を呈していた。板状の小帯線維束と扁平部上皮の間には線維束から分かれた走行が同じ方向の小帯小線維が多数みられた(図7)。

3. 走査型電子顕微鏡的観察

毛様小帯の断裂は主に毛様体ひだ部と前部扁平部で起っていた。高年齢群では毛様小帯が多く毛様体に付着していたが、後部扁平部においては若年齢群においても毛様小帯が付着していた(図8)。

若年齢群では毛様体突起の隆起と溝は比較的規則正

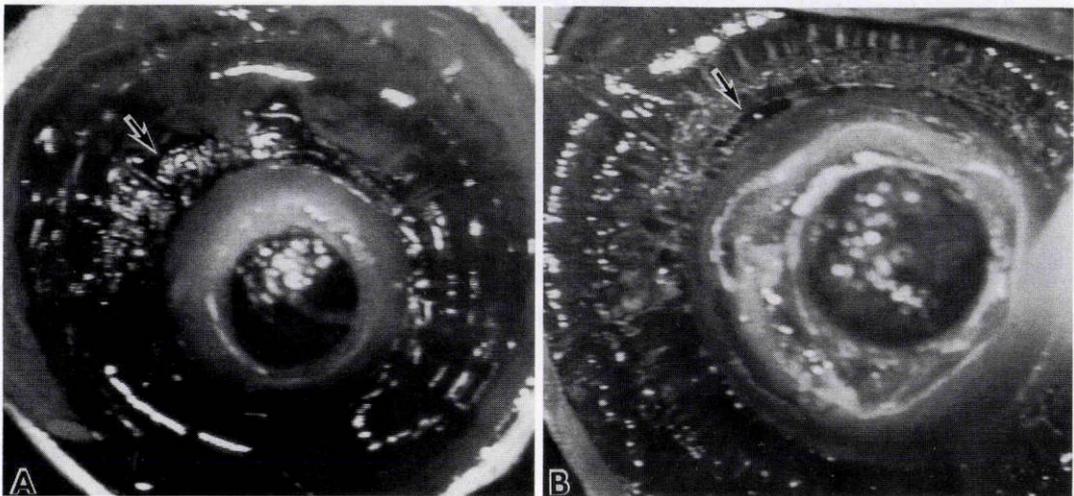


図3 毛様小帯が離断しはじめる時の顕微鏡下ビデオ撮影の1コマ(A:18歳, B:85歳)。Aでは毛様体側で断裂し, Bでは水晶体側で断裂している。矢印は断裂部を示す。

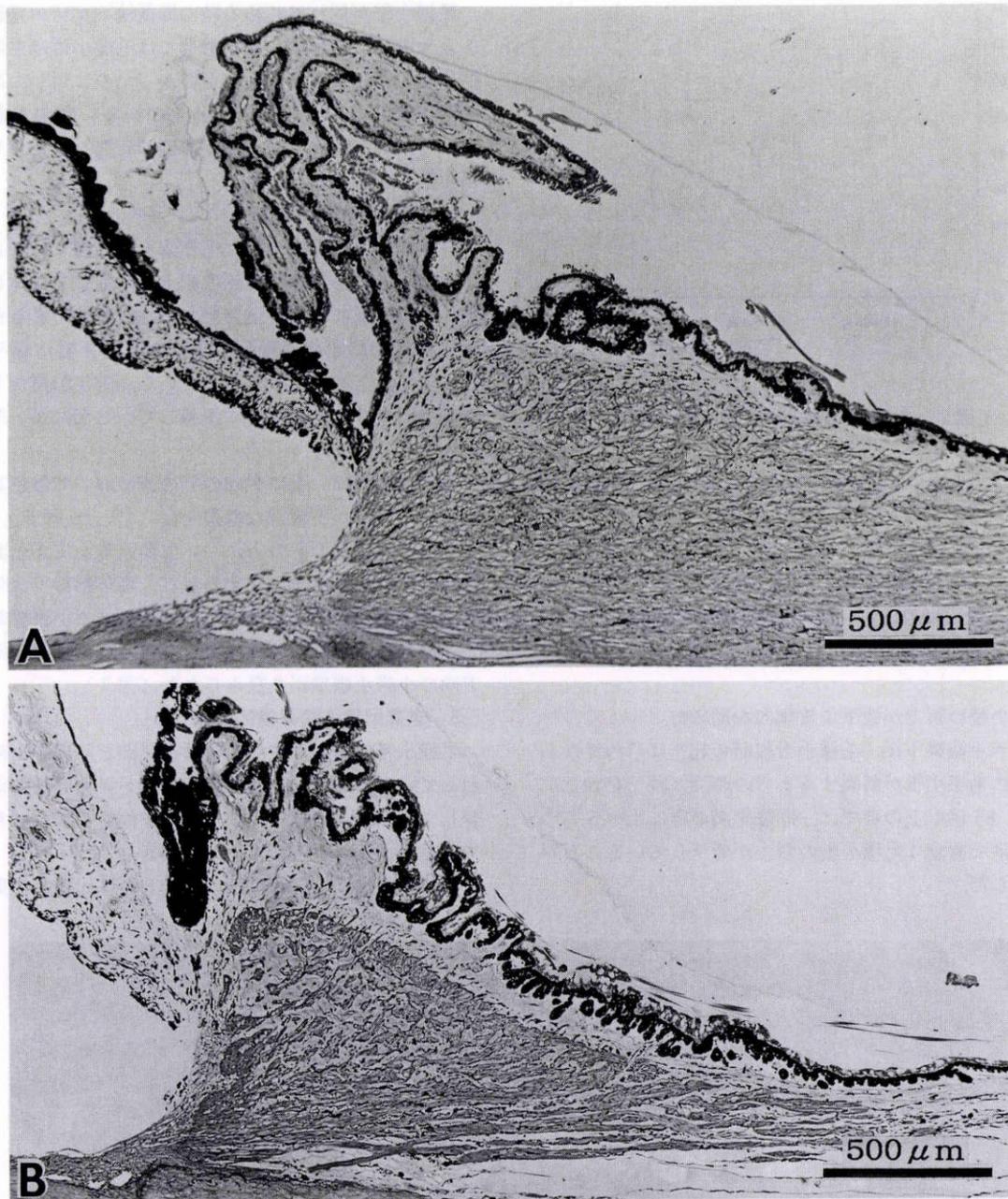


図4 毛様体ひだ部の光顕像 (A: 18歳, B: 85歳).

Aでは毛様体突起間に毛様小帯はみられないが, Bでは毛様小帯が強く毛様体上皮細胞に付着している (アズールII染色, $\times 45$).

しく輪状に配列しているのに対し, 高年齢群では溝が屈曲しており, 隆起が一部癒合して塊状となっている部位も観察された. また高年齢群では溝の幅が太い傾向を認めた (図9).

毛様体前部扁平部では表面は各々が経線方向に配列した明瞭な隆起と溝から構成されていた. 若年齢群では, 溝の幅が細く, 表面が比較的平滑であるのに対し, 高年齢群では溝の幅が太く, 隆起表面に経線方向に走

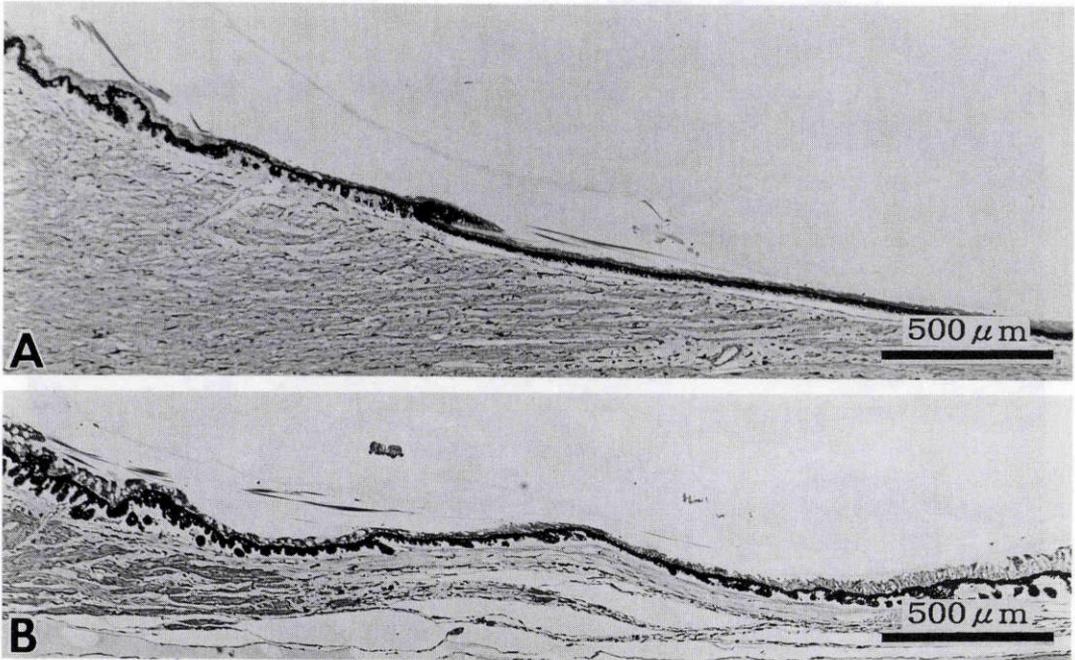


図5 毛様体扁平部の光顕像 (A: 18歳, B: 85歳)。

Aの後部扁平部では水晶体方向に傾斜している部位が一部認められる。無色素上皮細胞は、Bでは中部扁平部から後方では著明に扁平化し、水晶体方向に強く傾斜している(アズールII染色, $\times 45$)。

る皺が認められた。隆起間溝は若年齢群では約 $5\mu\text{m}$ 、高年齢群では約 $15\mu\text{m}$ であった。また、突起部と扁平部の境において若年齢群では、突起の長さが短く敷石状になっている部位が観察されたが、高年齢群ではほとんど認められなかった(図10)。

毛様体後部扁平部では、若年齢群においても一部毛様小帯が付着していた。高年齢群においては、刺状の突起構造が毛様小帯の走行にそって水晶体方向に傾いた様相を呈していた(図11)。

毛様小帯の太さは $10\sim 20\mu\text{m}$ で若年齢群と高年齢群とで差はなく、tension fiber³⁾と考えられる小線維もみられる。若年齢群では断裂した毛様小帯はいくつかの束に収束する傾向を示していた。

IV 考 按

Fisher¹⁰⁾は新鮮な人眼の毛様体筋の収縮実験より、15歳から45歳の間では毛様小帯の弾性係数は $3.5\times 10^6\text{Nm}^{-2}$ と一定であるとしている。我々の固定した人眼の水晶体牽引実験では、30歳未満の毛様小帯張力は $49.1\pm 8.09\text{gm}$ であり、30歳未満の若年齢群に比べ85歳以上の高年齢群では、有意に毛様小帯の張力が低下

していた。老視が40歳を境として起こることを考えると、調節力減退は水晶体に主たる原因があることは確かだが、それより高齢になって出現する毛様小帯の張力低下も老視の一因となっている可能性がある、と考えられた。また、伸展性の低下についても水晶体嚢に毛様体筋の力がスムーズに伝わらない原因となり、老視と関連づけることができる。水晶体嚢外摘出術における前嚢切開や皮質吸引に際して80歳以上の高齢者で毛様小帯が離断しやすいことは、この結果と一致するもので、高齢者の毛様小帯の張力および弾性の低下を意味する。今後水晶体嚢外摘出、眼内レンズ移植術において様々な高度な手技が開発されてくると考えられるが、今回の知見は、特に高齢者に対する手術の際に1つの留意点となるものと考えられる。

毛様小帯の離断部位については過去の水晶体全摘出術後の組織学的報告によると、Streetenら¹¹⁾は全摘すると毛様小帯は水晶体側につかず、完全にはずれてしまい、後部毛様小帯も前部硝子体膜(Weger靱帯)に残ると述べ、浜井ら¹²⁾は硝子体脱出をきたした症例では後嚢面に毛様小帯が付着していたと報じている。Duke Elder¹³⁾も外傷の際に、毛様小帯はレンズ側で切

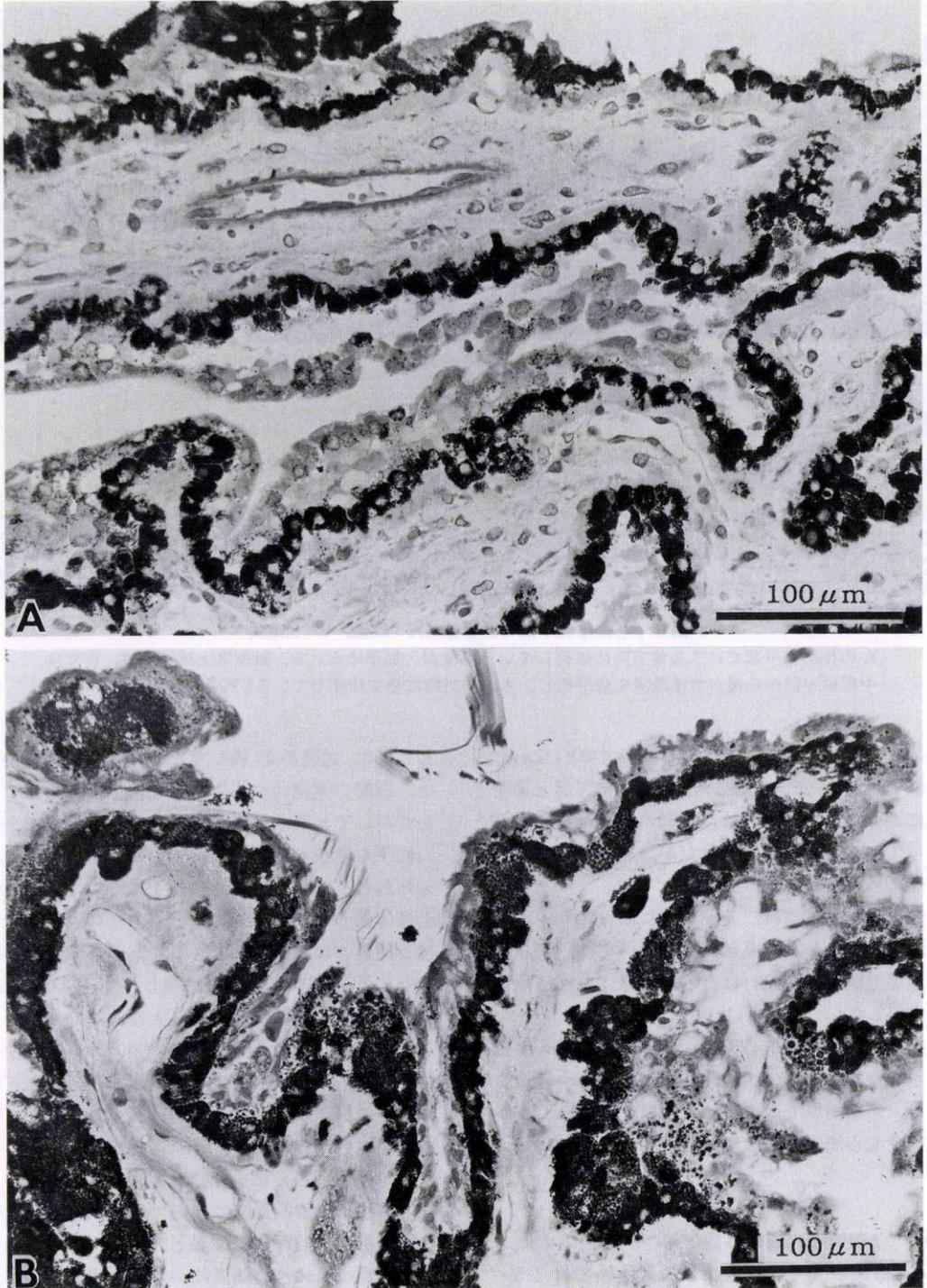


図6 毛様体ひだ部の光顕像 (A: 18歳, B: 85歳).

Aでは突起の谷において色素上皮細胞層から無色素上皮細胞が剝離した部分がみられる, Bでは, 主に突起の谷の方において無色素上皮細胞の表面が不規則な構造を呈しており, 一部間隙もみられる (アズールII染色, $\times 280$).

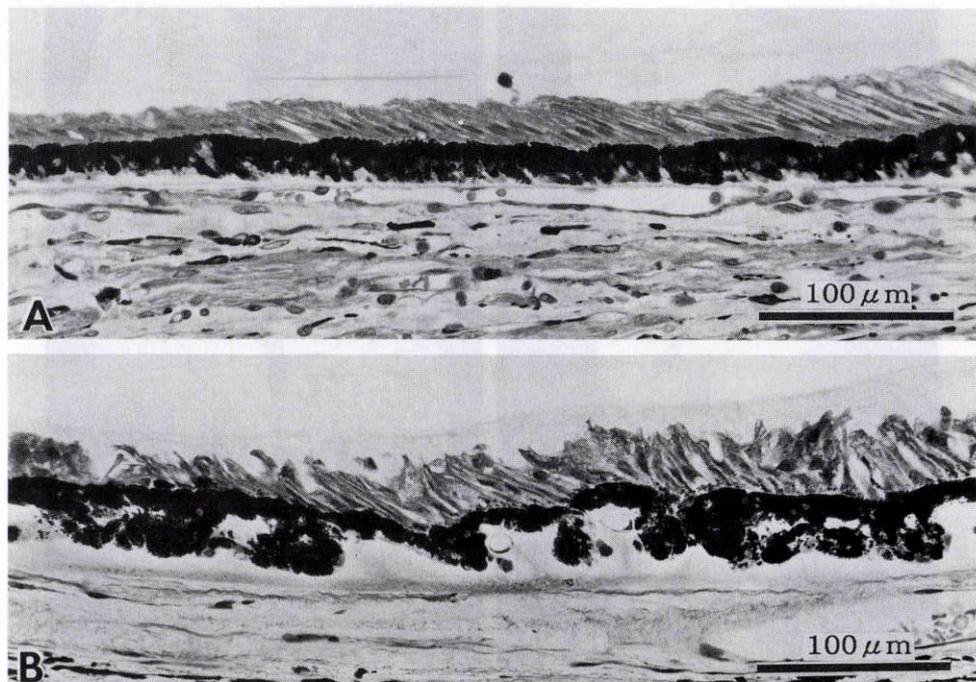


図7 毛様体扁平部の光顕像 (A: 18歳, B: 85歳).
 Aでは毛様小帯を認めることは少ない, Bでは無色素上皮細胞の内面が波状を呈しており, 毛様小帯小線維を多数認める (アズールII染色, $\times 280$).

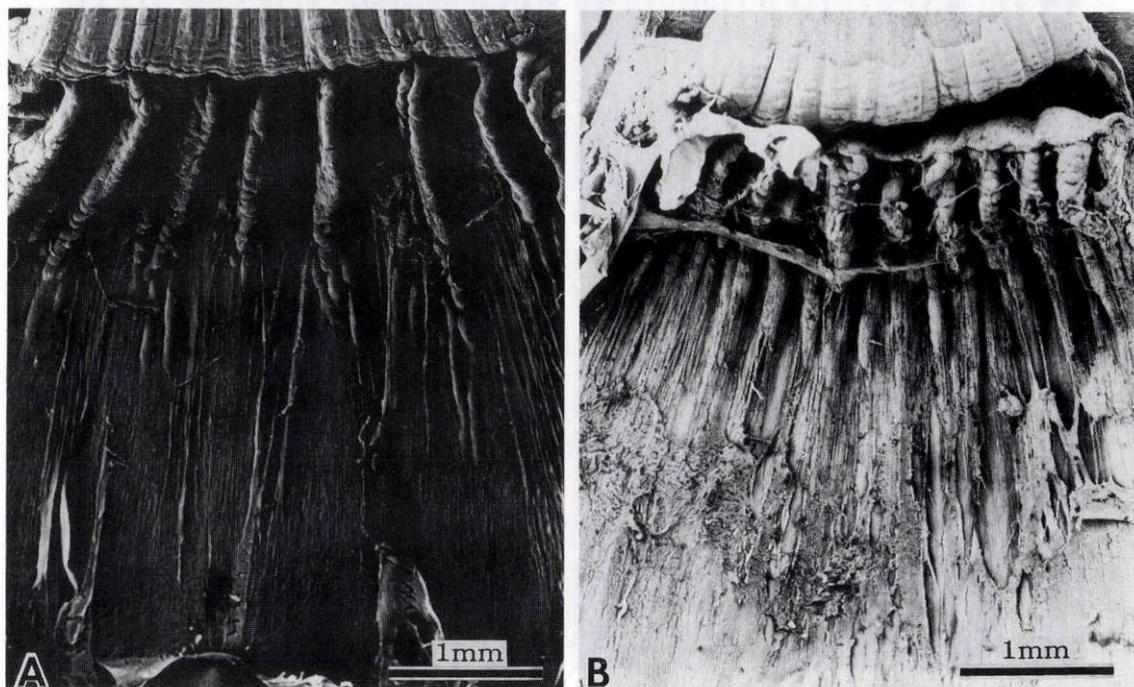


図8 毛様体全体の走査電顕像 (A: 18歳, B: 85歳).
 Bでは毛様小帯が毛様体に多く付着していた ($\times 20$).

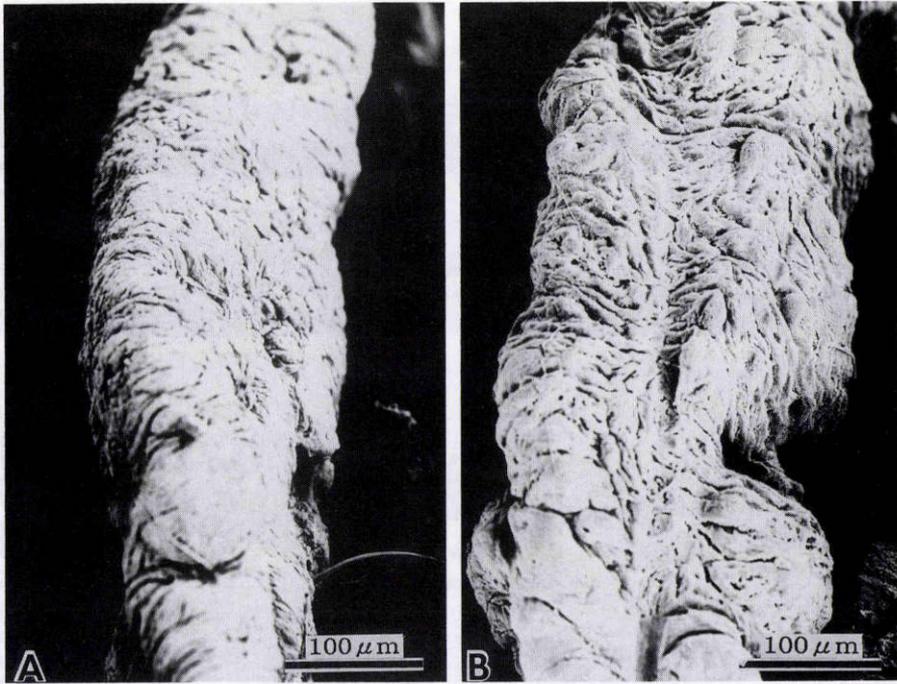


図9 毛様体ひだ部の走査電顕像 (A: 18歳, B: 85歳, 毛様小帯除去後).
Aでは隆起と溝は比較的規則但しく輪状配列しているのに対し, Bでは溝が屈曲しており, 隆起が一部癒合して塊状となっている部位も観察される ($\times 215$).

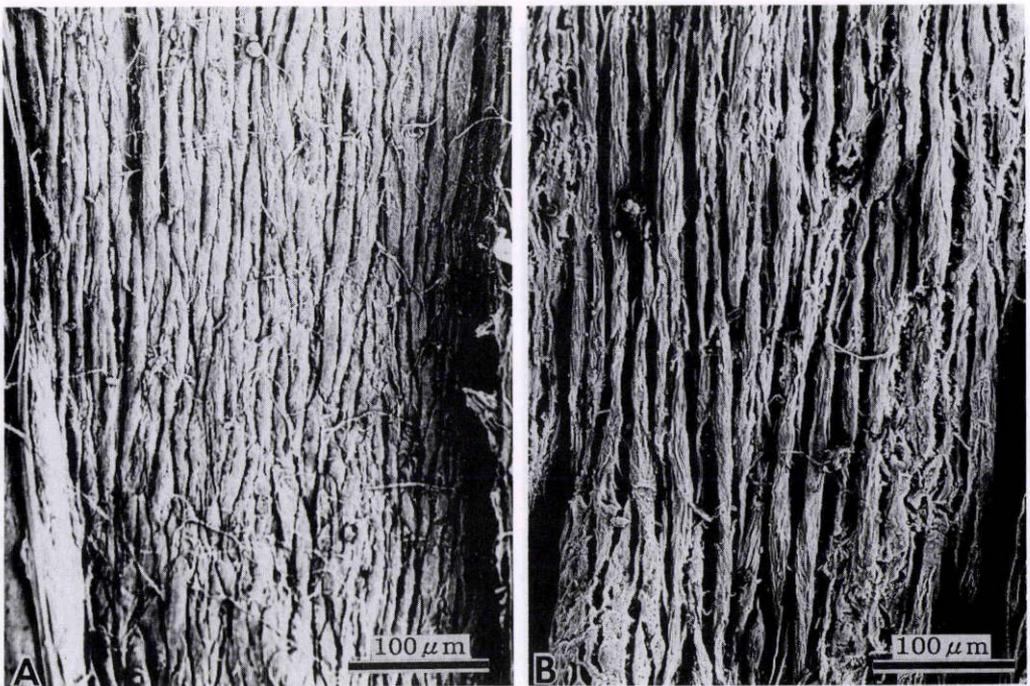


図10 毛様体前部扁平部の走査電顕像 (A: 18歳, B: 85歳, 毛様小帯除去後).
Aでは溝の幅が細く, 表面が比較的平滑であるのに対し, Bでは溝の幅が太く, 隆起表面に経線方向に走る皺が認められる ($\times 190$).

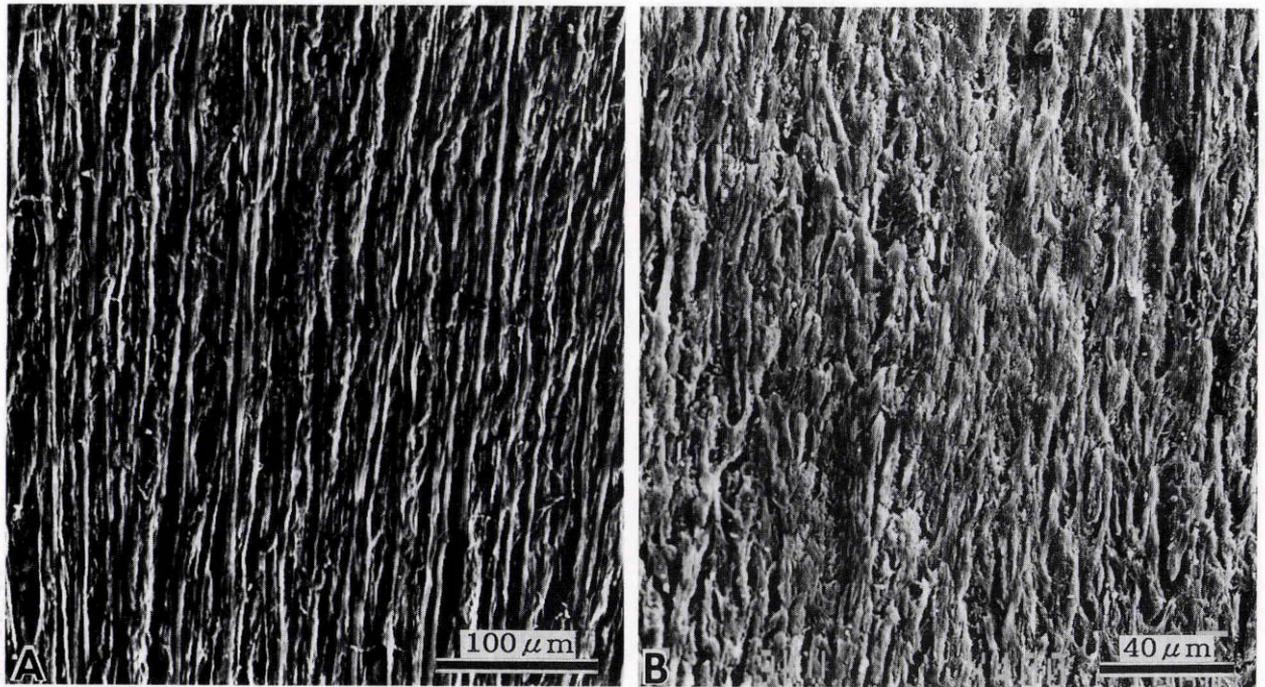


図11 毛様体後部扁平部の走査電顕像 (A: 18歳, B: 85歳, 毛様小帯除去後).
Bにおいては, 刺状の突起構造が毛様小帯の走行にそって水晶体方向に傾いた様相を呈していた (A×180, B×380).

れると述べている. しかし, これらはいくまで水晶体を一部凍結したり, 急激な力を加えたりしており, 今回の我々の実験方法の方が光軸の方向に均等な力を, しかも徐々にかけているため, もちろん新鮮眼との差は考えられるが, 牽引方法としてはより正確であると考えられる.

毛様小帯の発生については, 発生学的研究から毛様体上皮細胞から生ずるとの説よりも胎生期における水晶体血管膜の内皮細胞から産生されるとの説が有力となっているが^{14)~16)}, 若年者で毛様体で断裂するのは後者の説と相関しているように思われる. 加齢とともに毛様小帯が脆弱化し, 水晶体側で断裂するようになるとも考えられる. 若年齢群で突起の谷の方において色素上皮から無色素上皮が剝離した部位が認められたが, このことも若年齢群では毛様小帯の張力が強い結果, 水晶体側で切れずに無色素上皮と色素上皮の間の結合にまで牽引力が及んだためと考えられる.

離断した部位を検討すると, 断裂した毛様小帯はいくつかの束に集束する傾向を呈していた. これは残存した硝子体が関与し, 毛様小帯を相互に結び付けている¹¹⁾か, または毛様小帯同士の線維連絡のため横の関

係の張力に不均一性を生じ, 部分的に束のようになる可能性がある.

今回の研究では, 実験標本の制約もあり, 固定後の剖検眼を用いた. 組織固定と物理的性質について, Radjemanら¹⁷⁾は, グルタルアルデヒドで固定した組織は新鮮組織より伸長性があり, 固定液に1日保存と10日以上保存とでは弾性反応に大差はなかったと述べており, 今回の実験では固定期間は4~5年と一定にしたが, 期間による誤差は少ないものと考えられる. また, 眼球摘出までの時間, 摘出から固定までの時間, 固定液の種類, 保存方法などはすべて一定にし, 標本の変形のないもの(実体顕微鏡下で水晶体と毛様小帯がよく保存されており, 虹彩後癒着などがなく, ほぼ球面を保っているもの)に限定して結果が有意差を生じたことは意義あるものとする.

毛様体の電顕所見の加齢変化については, Sano¹⁸⁾は猿眼で報告しているが, 人眼での報告はほとんどなされていない. 毛様小帯は水晶体と毛様体間を結ぶもの(main fiber)と, 毛様体間を結ぶもの(tension fiber)の2つに分けられる³⁾¹⁹⁾. Tension fiberは毛様体突起間の谷深く, 毛様体上皮に結合している. いずれにし

ても加齢により毛様小帯に加わる力が長期間にわたり毛様小帯がもろくなるのと同時に、毛様体表面、すなわち、無色素上皮細胞の形態と配列に何らかの変化が生じてくることが考えられる。今回、毛様体ひだ部および前部扁平部において隆起間溝が加齢により広がるのは、隆起に加わった力が、長年にわたり溝を広くしたと考えられる。また、ひだ部では谷のほうにおいて無色素上皮細胞の表面が不規則な構造を呈していたのは、突起の谷の方の無色素上皮細胞が小帯線維を毛様体に固定する場であることが考えられる。さらに、毛様体筋、中でも Müller 筋が毛様体上皮と最も近い位置関係にあることから、Müller 筋による緊張、弛緩による力の伝達は突起間谷の上皮細胞を介して起こっていると考えられる。また、後部扁平部において、刺状の突起構造が毛様小帯の走行に沿って水晶体方向に傾いた様相を呈しているのも、長年にわたる毛様小帯の張力の結果と考えられる。

以上に示した毛様小帯の加齢による低下、および毛様体の形態学的な加齢変化は、調節力の低下すなわち、老視との関連を示す所見であると考えられる。

本論文の要旨は第95回日本眼科学会総会一般口演で発表した。

文 献

- 1) **Duke-Elder S**: System of Ophthalmology, Vol V, Ophthalmic Optics and Refraction. London, Henry Kimpton, 180—182, 1970.
- 2) **Moses RA**: Adler's Physiology of the Eye. Clinical Application (7th ed), St. Louis, The C.V. Mosby Co., 304—325, 1981.
- 3) **Rohen JW**: Scanning electron microscopic studies of the zonular apparatus in human and monkey eyes. Invest Ophthalmol Vis Sci 18: 133—144, 1979.
- 4) **Helmholtz H**: Über die Akkomodation des Auges. Albrecht v Graefes Arch Ophthalmol 1: 1—74, 1855.
- 5) **Fincham EF**: The mechanism of accommodation. Br J Ophthalmol 21(Monograph Suppl

- VIII): 1—80, 1937.
- 6) **Fisher RF**: The significance of the shape of the lens and energy changes in accommodation. J Physiol 201: 21—47, 1969.
- 7) **Fisher RF**: The mechanism of accommodation in relation to presbyopia. Eye 2: 646—649, 1988.
- 8) **Duane A**: Accommodation. Arch Ophthalmol 5: 1—14, 1931.
- 9) **Fisher RF**: The force of contraction of the human ciliary muscle during accommodation. J Physiol 270: 51—74, 1977.
- 10) **Fisher RF**: The ciliary body in accommodation. Trans Ophthalmol Soc UK 105: 208—219, 1986.
- 11) **Streeten BW, Pulaski JP**: Posterior zonular and lens extraction. Arch Ophthalmol 96: 132—138, 1978.
- 12) **浜井保名, 高橋茂樹, 柳田 泰**, 他: 白内障手術と水晶体後面の変化. 眼紀 29: 906—910, 1978.
- 13) **Duke-Elder S**: System of Ophthalmology, Vol XIV, Injuries. London, Henry Kimpton, 143, 1970.
- 14) **沖田美智**: Zonuleの発生と構造. 第1報. 発生. 日眼会誌 75: 432—464, 1971.
- 15) **武井洋一**: 毛様体小帯の電顕的研究. 3. その発生および発達について. 日眼会誌 79: 702—713, 1975.
- 16) **中山滋章**: チン氏帯の電子顕微鏡的研究—胎生期人チン氏帯について—. 日眼会誌 81: 1387—1403, 1977.
- 17) **Radjeman A, Lim KO**: The effect of temperature and glutaraldehyde fixation on the mechanical properties of bovine pericardial tissues. Jpn J Physiology 36: 1093—1100, 1986.
- 18) **Sano Y**: The fine surface architecture of the primate ciliary body with special regard to the pars plana. Jpn J Ophthalmol 33: 251—259, 1989.
- 19) **西田祥藏**: サル眼毛様体小帯の走査型電子顕微鏡による研究. 日眼会誌 84: 1561—1573, 1980.