

法医学における網膜出血, 眼窩内出血の頻度, 発生機序, 及び, その意義について

大草 亘 孝 西尾 齊 御木 容 吉國 聖 乃 門田 永 治
異 信 二

近畿大学医学部法医学教室

抄 録

網膜出血は乳幼児虐待などで法医学的に重視されて来たが, その発生機序には不明な点が多い。これら眼科領域の出血を総括的, 法医病理学的に十分に検討した報告もない。本論文では眼科領域の出血を網膜系出血と毛様体系出血に大別し, その頻度, 発生機序などについて検討した。法医病理学的には38例中5例(13.2%)に網膜系出血を, 21例(55.3%)に毛様体系出血を認めた。脳圧亢進のあった6例中, 5例(83.3%)で網膜系出血を認め, 非脳圧亢進の32例では認められなかった。脳圧亢進と毛様体系出血に相関性はなく, 両出血と死因, 血栓塞栓の有無, 視神経軸索損傷の有無とも相関性はなかった。以上より, 網膜系出血は頭蓋内圧亢進と関連することが示唆された。網膜中心動静脈は視神経内を走行するため頭蓋内圧の影響を直接に受ける。頭蓋内圧が網膜中心静脈圧より上昇した場合に網膜系にうっ血性出血が生じると考察された。毛様体系血管は頭蓋内圧の影響を受けない。しかし, 急死例では頭頸部に強いうっ血を生じる。これが毛様体系出血の主たる機序と推定された。網膜系出血と毛様体系出血とでは発生機序が異なる可能性が大である。これらを一括して論じてきたことが混乱の一因であったと考えられる。また, 乳幼児の網膜出血は虐待そのものを示唆するものではなく, 被虐待児で高頻度に生じる脳圧亢進を示唆するものと推論された。

Key words : 網膜出血, 網膜中心血管, 虹彩毛様体血管, 頭蓋内圧, 乳幼児虐待

緒 言

眼科領域の出血, 特に網膜出血は乳幼児の司法解剖例において, 虐待を示唆する重要な所見として注目されてきた¹⁻⁴。しかし, 種々の死因での眼科領域の出血の頻度, 発生機序を成人例も含めて総括的, 法医病理学的に検討した報告はまだない。また, 昨今, 多くの施設で導入されている死後 Computed Tomography (以下, CT) 画像で, これら出血の検出が可能か否かについての報告もなされていない。今回, 当教室の司法解剖例を用い, これらの点についての検討を試みた。

方 法

1) 対象

近畿大学医学部法医学教室で平成24年1月1日から同3月9日までに施行された司法解剖42例を対象

とした。このうち, 4例は高度死後変性, 或いは, 眼科領域の高度損傷のために眼窩内組織の採取が不可能であった。これらを除く38例で両側の眼窩内組織を採取し対象とした。その内訳は男性24例, 女性14例, 年齢幅は生後2ヶ月~93歳であり, 平均年齢は49.3歳であった。外因死は30例, 内因死は8例,

表1 死因の内訳

外因死		内因死	
頭頸部外傷	7例	肺炎	3例
焼死	7例	肺動脈血栓塞栓症	1例
胸部外傷	6例	代謝異常	1例
溺死	4例	全身性炎症反応症候群	1例
中毒	2例	心不全	1例
窒息	2例	くも膜下出血	1例
腹部外傷	1例	計	8例
凍死	1例		
計	30例		

その死因の内訳は表1に示す。

2) 方法

2-1) 死後CT画像による検討

全例で司法解剖前に全身用X線CT装置(Asteion TSX-021B, TOSHIBA メディカルシステムズ, 栃木)を用いて眼科領域を含む全身スキャンを施行した。全身スキャンは再構成視野直径390 mmで、眼窩内組織は同直径240 mmで撮影した。頭部の画像上で頭蓋内出血等の急性変化が確認された症例では ①明らかな大脳正中偏位を呈するもの、②脳ヘルニアの確認できるもの、③脳腫脹のために年齢に比して明らかに脳室が狭小化しているものの3条件のうち、1項目以上を満たす例を「頭蓋内圧亢進」例とした。両側眼科領域に関しては出血性変化の有無を検討した。

2-2) 頭蓋内組織の肉眼的、顕微鏡的観察

通常の司法解剖学的方法により頭蓋内組織を検討した。また、急性頭蓋内病変を認めた例では、上述の死後CT画像で用いたのと同様の判定基準で「頭蓋内圧亢進」例であるか否かを決した。

2-3) 眼窩内組織の採取法

開頭して脳組織を摘出後、頭蓋底硬膜を剝離し、前頭蓋窩の骨を除去した後、眼窩内の軟部組織を付けた状態で両側の眼球、視神経を採取した。なお、視神経は視交叉の直前まで採取した。

2-4) 眼科領域組織の法医病理学的観察のための処理

20%ホルマリン+20%メタノール緩衝固定液で約10日間の固定後、下記の方法で切り出した。

2-4-1) 視神経領域の切り出し

左眼窩内組織は視神経断端から球後部までを視神経の長軸に対して垂直な面で約2 mm間隔の連続切断として標本を作製した。これら標本は通常組織学的観察に供した。右側のそれでは球後部で視神経の長軸に垂直な面で眼球と視神経を切り離し、視神経の中心を通る面で視神経の長軸に沿って割を入れ、その面から標本を作製して視神経軸索損傷の有無も含めた組織学的観察に用いた。

2-4-2) 眼球の切り出し

両側眼球とも、瞳孔と視神経を通る面で体軸に対して垂直な割を入れ、厚さ約4 mmの組織を切り出して組織学的観察に供した。

2-5) 染色方法

得られた組織はすべてパラフィン包埋とし、その薄切切片からhematoxylin-eosin標本(以下、HE標本)を作製した。更に、目的に従って下記の免疫組織化学も施行した。

2-5-1) 出血性変化に伴う血漿タンパクの血管外漏

出を確認する目的でIgG(A127, Dako, 東京, 希釈倍率;x4000), フィブリノーゲン(A080, Dako, 東京, 希釈倍率;x800)の免疫組織化学を行った。2-5-2) 視神経を長軸に沿った面で観察できる切片では、視神経軸索損傷を検討する目的でニューロフィラメント免疫組織化学(M0762, Dako, 東京, 希釈倍率;x100)を施行した。

2-6) 眼窩内組織の顕微鏡的観察法

2-6-1) 出血性変化の判定方法

眼球、眼窩内軟部組織で出血性変化の有無を検討した。切り出しや薄切などの形態学的手技による人為的な赤血球の血管外displacementを除外するために、約100個以上の赤血球が組織間隙に観察され、加えて、同部にIgGやフィブリノーゲンの血管外漏出も確認できたものを「出血」と判定した。

2-6-2) 出血部位による分類

出血が認められた場合、その出血部位が網膜中心動脈系の灌流域に見られたものを「網膜系出血」とし、それ以外、すなわち、虹彩毛様体血管系のそれに認められたものを「毛様体系出血」とした。

2-6-3) 血栓塞栓について

HE標本で血栓塞栓の有無を検討した。明らかな血小板梁の形成、或いは、フィブリンの析出があり、それらに対してマクロファージ、或いは、好中球の反応があるもの、ないしは、血管内皮細胞の核腫大の確認できるものを「血栓塞栓」と判定した。

2-6-4) 視神経軸索損傷について

ニューロフィラメント免疫組織化学でspheroid形成の有無を中心に観察した。加齢などによる軸索形態の修飾も考慮し、年齢をマッチさせた非外傷性の症例とも十分に比較して慎重に判定した。

3) 結果

結果の総覧を表2に示す。以下に各々の詳細を記す。

3-1) 死後CT画像による眼球、眼窩内組織の出血性変化の検討

眼球、眼窩内ともにCTで出血性変化が検出された症例はなかった。

3-2) 光学顕微鏡的な出血性変化の検討

38例中24例(63.2%)で出血性変化を認めた。その内訳は網膜系出血が5例(13.2%) (両側性は2例, 片側性は3例), 毛様体系出血が21例(55.3%) (両側性は10例, 片側性は11例)であり、2例で網膜系と毛様体系の両域に出血が見られた。網膜系出血の好発部位は内境界膜下~内顆粒層であった。網膜系出血, 毛様体系出血ともに強いうっ血を伴っていた。網膜系, 毛様体系に出血を見た症例を、その眼科領域のCT像と共に図1に示す。

表2 結果の総覧

No.	年齢	性	死因	脳圧 亢進	CT 上での 眼科域出血	光学的網膜系出血		光学的毛様体系出血		軸索 損傷	血栓
						左	右	左	右		
1	33歳	女	頭頸部外傷	+	-	+	-	-	-	-	+
2	5ヶ月	男	肺炎	-	-	-	-	-	-	-	-
3	6ヶ月	女	肺炎	-	-	-	-	-	-	-	-
4	54歳	男	頭頸部外傷	+	-	+	+	-	-	-	+
5	50歳	男	溺死	-	-	-	-	-	-	-	-
6	60歳	男	焼死	-	-	-	-	+	-	-	-
7	47歳	男	頭頸部外傷	+	-	+	+	-	+	-	-
8	69歳	男	凍死	-	-	-	-	-	-	-	+
9	23歳	男	中毒	-	-	-	-	+	+	-	-
10	69歳	男	胸部外傷	-	-	-	-	-	+	-	-
11	82歳	男	肺動脈血栓塞栓症	-	-	-	-	-	-	-	-
12	2ヶ月	男	肺炎	-	-	-	-	+	+	-	+
13	12歳	女	腹部外傷	-	-	-	-	-	+	-	-
14	85歳	女	頭頸部外傷	-	-	-	-	-	-	-	-
15	93歳	女	焼死	-	-	-	-	-	-	-	-
16	37歳	女	代謝性疾患	-	-	-	-	+	+	-	+
17	56歳	女	焼死	-	-	-	-	-	-	-	+
18	81歳	女	頭頸部外傷	-	-	-	-	-	+	-	-
19	56歳	男	中毒	-	-	-	-	-	-	-	-
20	60歳	女	窒息	-	-	-	-	+	+	-	-
21	38歳	女	窒息	-	-	-	-	+	-	-	-
22	25歳	男	溺死	-	-	-	-	+	-	-	-
23	66歳	女	溺死	-	-	-	-	+	+	-	-
24	47歳	男	胸部外傷	-	-	-	-	-	-	-	-
25	75歳	男	焼死	-	-	-	-	+	-	-	+
26	70歳	女	焼死	-	-	-	-	-	-	-	-
27	21歳	男	胸部外傷	-	-	-	-	-	-	-	-
28	39歳	男	頭頸部外傷	+	-	+	-	+	+	-	-
29	37歳	男	頭頸部外傷	-	-	-	-	+	+	+	-
30	42歳	男	胸部外傷	-	-	-	-	-	-	-	+
31	61歳	男	胸部外傷	-	-	-	-	+	+	-	+
32	40歳	女	溺死	-	-	-	-	+	+	-	-
33	35歳	男	全身性炎症反応 症候群	+	-	-	-	+	+	-	+
34	64歳	男	焼死	-	-	-	-	+	-	-	+
35	55歳	男	胸部外傷	-	-	-	-	-	-	-	-
36	84歳	女	心不全	-	-	-	-	+	-	-	-
37	39歳	男	くも膜下出血	+	-	+	-	-	-	-	-
38	69歳	男	焼死	-	-	-	-	-	+	-	+

3-3) 死因と出血性変化の相関性について

外因死30例中4例(13.3%)で網膜系出血を認め、17例(56.7%)で毛様体系出血を認めた。一方、内因死8例中1例(12.5%)で網膜系出血を、4例(50.0%)で毛様体系出血を認めた。これらを表3に示す。

3-4) 頭蓋内圧亢進の頻度，及び，脳圧亢進と出血性変化の相関性について

3-4-1) 頭蓋内圧亢進の頻度

38例中6例(15.8%)が頭蓋内圧亢進例と判定された。CT所見と解剖所見とはよく一致し、両検討法

で判定が乖離した例はなかった。典型的な頭蓋内圧亢進例を図2に示す。

3-4-2) 頭蓋内圧亢進と出血性変化の相関性について

脳圧亢進の見られた6例中5例(83.3%)で網膜系出血を認め、3例(50%)で毛様体系出血を認めた。一方、脳圧亢進のない32例中では網膜系出血を認めず、18例(56.3%)で毛様体系出血を認めた。これらを表4に示す。

3-5) 血栓塞栓の頻度，及び，血栓塞栓形成と出血性

変化の相関性について

3-5-1) 血栓塞栓の頻度

38例中、12例 (31.6%) で血栓塞栓が検出された。その検出部位は全例が毛様体血管系の灌流域であっ

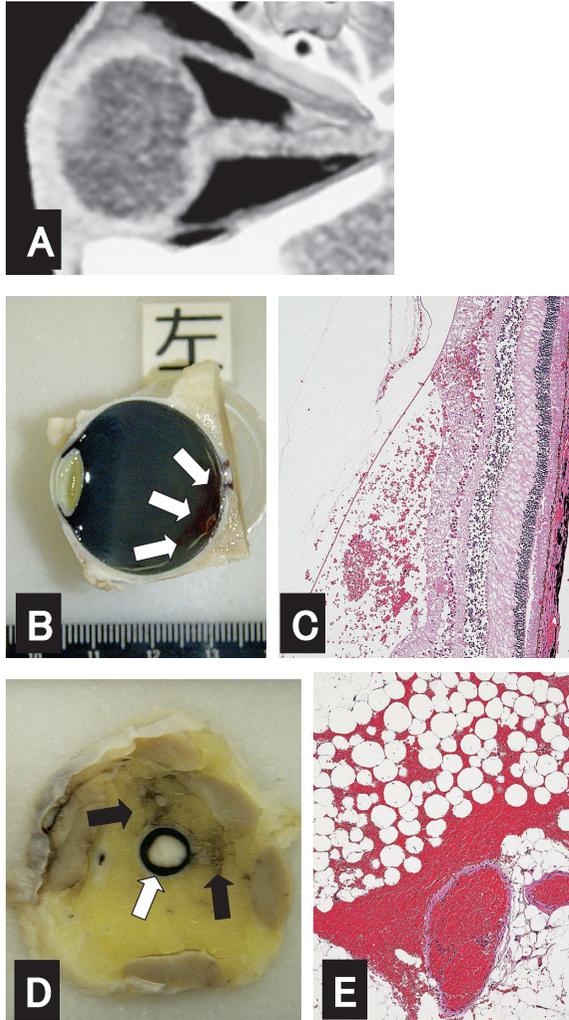


図1 症例28；39歳，男性，外傷性くも膜下出血を伴う頭頸部外傷例。A：左眼のCT像。出血性変化は明らかではない。B：左眼球剖面の肉眼像。硝子体網膜出血を認める(矢印)。C：その光顕像。内境界膜下を中心に出血性変化が明瞭である(HE，対物レンズx10)。D：視神経を含む眼窩内組織の剖面。視神経周囲のくも膜下腔に血液貯留を見る(白矢印)。周辺の軟部組織内にも出血性変化がうかがえる(黒矢印)。E：軟部組織の光顕像。高度のうっ血を呈した静脈の周辺に出血性変化を認める(HE，対物レンズx20)。

た。典型的な血栓塞栓の組織像を図3に示す。

3-5-2) 血栓塞栓形成と出血性変化の相関性について

血栓塞栓の見られた12例中、2例 (16.7%) で網膜系出血を認め、7例 (58.3%) で毛様体系出血を認めた。一方、血栓の認められない26例中、3例 (11.5%) で網膜系出血を認め、14例 (53.8%) で毛様体系出血を認めた。これらを表5に示す。

3-6) 視神経軸索損傷の頻度、及び、同損傷と出血性変化の相関性について

3-6-1) 視神経軸索損傷の頻度

38例中、1例 (2.6%) が陽性と判定された。同例を正常コントロール例と共に図4に示す。

3-6-2) 視神経軸索損傷と出血性変化の相関性について

視神経軸索損傷の見られた1例では網膜系出血は認めず、毛様体系出血のみを認めた。一方、同損傷の認められない37例中、5例 (13.5%) で網膜系出血を、21例 (56.8%) で毛様体系出血を認めた。これらを表6に示す。

考 察

司法解剖にCTが導入されて以来、特に出血性変化を検出する上で有用とされてきた⁵。しかし、眼科領域の出血には限界があることが今回の検討で明らかになった。眼科領域の出血の検索には光顕的観察が必須であり、その検出頻度は全司法解剖例の約6

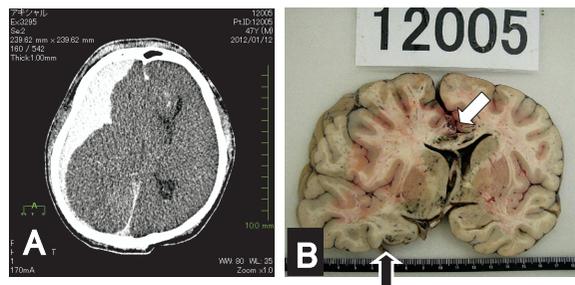


図2 症例7；47歳，男性，急性硬膜下出血。A：頭部CT像。右硬膜下血腫，大脳正中偏位等が明らかである。B：大脳剖面の肉眼像。右大脳半球の高度腫張に加え，帯状回ヘルニア(白矢印)，海馬鉤ヘルニア(黒矢印)等が観察される。

表3 外因死と内因死における出血性変化の頻度

外因死	30例		内因死	8例	
網膜系出血あり	4例*	13.3%	網膜系出血あり	1例	12.5%
毛様体系出血あり	17例*	56.7%	毛様体系出血あり	4例	50.0%
出血なし	11例	36.7%	出血なし	3例	37.5%

(*；網膜系と毛様体系の両域に出血を認めた2例を含む)

表4 頭蓋内圧亢進と出血性変化の相関性

脳圧亢進あり	6例		脳圧亢進なし	32例	
網膜系出血あり	5例*	83.3%	網膜系出血あり	0例	0%
毛様体系出血あり	3例*	50.0%	毛様体系出血あり	18例	56.3%
出血なし	0例	0%	出血なし	14例	43.8%

(* ; 網膜系と毛様体系の両域に出血を認めた2例を含む)

表5 血栓塞栓と出血性変化の相関性

血栓塞栓あり	12例		血栓塞栓なし	26例	
網膜系出血あり	2例	16.7%	網膜系出血あり	3例*	11.5%
毛様体系出血あり	7例	58.3%	毛様体系出血あり	14例*	53.8%
出血なし	3例	25.0%	出血なし	11例	42.3%

(* ; 網膜系と毛様体系の両域に出血を認めた2例を含む)

表6 視神経軸索損傷と出血性変化の相関性

軸索損傷あり	1例		軸索損傷なし	37例	
網膜系出血あり	0例	0%	網膜系出血あり	5例*	13.5%
毛様体系出血あり	1例	100%	毛様体系出血あり	20例*	54.1%
出血なし	0例	0%	出血なし	14例	20.0%

(* ; 網膜系と毛様体系の両域に出血を認めた2例を含む)

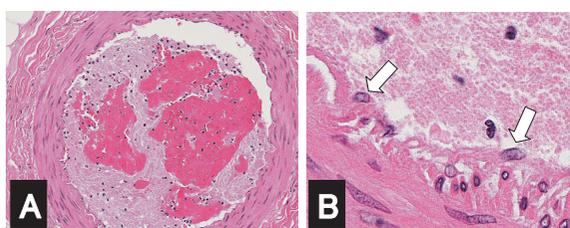


図3 症例8 ; 69歳，男性，凍死。A : 虹彩毛様体動脈系で認められた血栓塞栓，血小板の析出，赤血球凝集が観察される (HE, 対物レンズ x20)。B : その強拡大。血小板の析出部に白血球が散見され，血管内皮細胞の核腫大も認められる (矢印) (HE, 対物レンズ x40)。

割であることも示された。

今回の検討から，網膜系出血，毛様体系出血は外因死，内因死の何れでもほぼ同様の頻度で生じていることが確認された。乳幼児の網膜系出血は虐待例で特に重視されてきたが¹⁻⁴，網膜出血そのものは事件性の有無と直接の関係はないことが示唆された。

今回の検討で，頭蓋内圧亢進は高率に網膜系出血を伴うことが示された。網膜系は網膜中心動静脈の灌流を受ける。同血管系は視神経が眼球に達する前，約1.3 cmの部位から視神経内に入り，その中心部を走行する。視神経周囲にはくも膜下腔が存在し，頭蓋内圧が直達する。一方，毛様体系は10数条の毛様体血管系で灌流される。同血管系は視神経内を通らず，眼窩内軟部組織を灌流しながら強膜を貫き，虹彩等に入る^{6,7} (図5)。

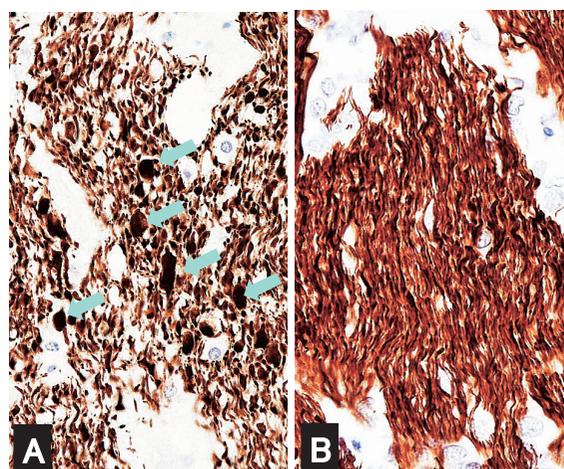


図4 症例29 ; 37歳，男性，頭頸部外傷。A : 視神経軸索は断裂傾向を示し，走行も不整である。軸索の病的腫大，すなわち spheroid 形成も認められる (矢印) (ニューロフィラメント免疫組織化学，対物レンズ x40)。B : 正常コントロール。38歳，男性，溺死 (ニューロフィラメント免疫組織化学，対物レンズ x40)。

網膜中心眼静脈の内圧は約10 mmHg と推定される⁸。従って，頭蓋内圧が約10 mmHg (すなわち，13.6 cmH₂O) 以上に亢進した場合，網膜中心静脈が圧排されて網膜血管系の静脈還流不全が生じ，その結果，同域にうっ血性出血が生じる可能性が考えられる。これは内因性くも膜下出血ですでに報告⁹のある仮説であるが，頭蓋内圧亢進を経た種々の異状死体でも広く適応できる説である可能性が示された。

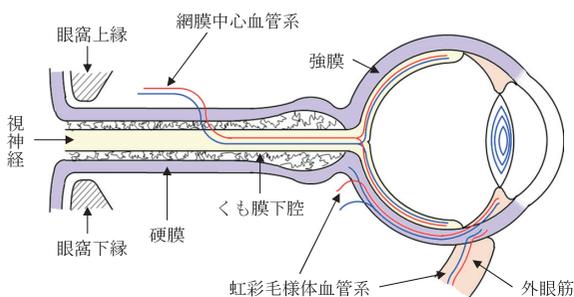


図5 眼科領域血管支配とくも膜下腔の関係。網膜を灌流する網膜中心動静脈は視神経内に入る。そのため、視神経周囲のくも膜下腔から頭蓋内圧の影響を直接的に受ける。虹彩毛様体血管系は眼窩内軟部組織を灌流しながら強膜を貫き、虹彩等に入る。従って、頭蓋内圧の直接影響は受けない。

以下、頭蓋内圧の影響を受けない毛様体系の出血機序について考察する。司法解剖症例は病理解剖症例のそれに比して急死例が多い。急死では血中酸素分圧の低下は急激であると考えられる。急激な低酸素症は肺血管収縮を来し、右心不全を高率に生じる^{10,11}。また、脳血管系の autoregulation 機構により、死戦期でも脳への動脈血供給は比較的、保持される傾向がある¹²。これらのために急死例は頭頸部に強いうっ血を生じ、結膜溢血点や側頭骨錐体出血など種々のうっ血性出血を伴うと考えられる^{13,14}。毛様体系出血の症例でも、その静脈系に強いうっ血が観察されたことから、その出血は結膜溢血点などと同意義のうっ血性出血と考えたい。

本検討で31.6%の症例に血栓塞栓を認めたが、死戦期には低酸素性血管内皮細胞障害などに起因する血栓塞栓形成、すなわち、agonal thromboembolism が少なからず生じることが知られている¹⁵。凍死の特徴的所見とされる胃粘膜、粘膜下の多発性出血 (Wischnevsky 斑) も虚血再開通現象で説明される¹⁶。従って、法医学領域で出血の機序を考える上で虚血再開通現象も重要である。今回の検討では血栓塞栓のある群と無い群で出血性変化の頻度に有意差はなかった。従って、血栓塞栓による虚血、その後の再開通現象が出血に関与している可能性は否定的と考えられた。ただ、今回用いた HE 標本での「血栓塞栓」の判定基準では発生ごく早期の白血球反応を欠いた血栓塞栓は検出できない。今後、血液凝固関連の種々の免疫組織化学等も併用した、より高感度な方法で検討する必要があると考える。また、血栓塞栓を介さない低灌流性虚血も考慮する必要がある、これも今後の検討課題である。

乳幼児虐待における網膜出血では加速減速説 acceleration-deceleration theory が有名であ

る^{3,4}。これは頭部外傷により眼球に前後方向の加速、減速が生じ、その血管系に shear stress が加わり、それによる血管障害で網膜出血が生じるとする説である。頭部外傷例で視神経に見られるび慢性軸索損傷は、眼窩内容物に前後方向への shear stress が加わったことの証拠であると考えられている¹⁷。本検討で1例に視神経軸索損傷を認めたが、同例に網膜系出血は観察されなかった。その症例は頭蓋粉碎骨折、脳破砕があり頭蓋内圧亢進は経過しなかったと考えられる。従って、脳圧亢進がなかったことで網膜系出血を欠いたことの説明は可能と思える。ただ、現時点では症例数も限られており、今後も加速減速説の適否について検討を続ける予定である。

眼科領域の出血は被虐待児の特異的な所見であるとする説¹⁻⁴があるが、異論もある^{18,19}。今回のデータから、乳幼児の網膜系出血は虐待そのものを示唆する像ではなく、被虐待児で高頻度に見られる ischemic-hypoxic brain damage²⁰⁻²²、それに伴う脳圧亢進が関与するものと推論された。ただし、今回の対象に乳幼児虐待例は含まれていない。これも症例数を増やし、今後も更に検討を続ける所存である。

死後は角膜混濁が時間経過と共に進み、また、散瞳薬による散瞳もはや得られない。そのために通常の眼底検査には限界がある。しかし、保存状態さえよければ死後3日程度までは通常の方法でもある程度までは眼底の観察可能な症例も報告されており⁴、今後、試みられるべき方法である。

以上、司法解剖38例で眼科領域の出血性変化について検討した。網膜系出血は頭蓋内圧亢進と相関性が高く、毛様体系出血は死戦期の頭頸部うっ血に起因する可能性が示唆された。過去、両系統の出血を同様のものとして扱っていたことが、これら出血の法医学的な意義を曖昧にしてきたことの一因であると考えられた。

謝 辞

稿を終えるに当たり、ご指導ならびに御校閲いただいた近畿大学医学部名誉教授 橋本重夫先生、また、ご協力をいただいた教室員の方々に深謝致します。

文 献

1. Harcourt B, Hopkins D (1971) Ophthalmic manifestations of the battered baby syndrome. *Br Med J* 3: 398-401
2. Ludwig S, Warman M (1984) Shaken baby syndrome: a review of 20 cases. *Ann Emerg Med* 13: 51-54
3. Gilliland MGF, et al. (2007) Guidelines for postmortem protocol for ocular investigation of sudden unexplained infant death and suspected physical child abuse. *Am J Forensic Med Pathol* 28: 323-329

4. Wygnanski-Jaffe T, Morad Y, Levin AV (2009) Pathology of retinal hemorrhage in abusive head trauma. *Forensic Sci Med Pathol* 5: 291-297
5. 岩瀬博太郎 (2010) 法医学からみた死後CT. *法医病理* 16: 83-88
6. Lawrenson JG (2008) The orbit and accessory visual apparatus. In: Standring S (ed-in-chief), *Gray's Anatomy Churchill Livingstone, Elsevier*, pp655-674
7. Lawrenson JG (2008) The eye. In: Standring S (ed-in-chief), *Gray's Anatomy Churchill Livingstone, Elsevier*, pp675-697
8. 梶田 昭 (1994) 血液循環. In: 飯島宗一, 石川栄世, 影山圭三, 島崎徹郎, 森 亘 (eds): *現代病理学大系 Vol 4*, 中山書店, pp65-90
9. Muller PJ, John H, Deck N (1974) Intraocular and optic nerve sheath hemorrhage in cases of sudden intracranial hypertension. *J Neurosurg* 41: 160-166
10. Bradford JR, Liljestrang G (1894) The pulmonary circulation. *J Physiol* 16: 34-158
11. Mark AE (2007) Hypoxic pulmonary vasoconstriction. *Essays Biochem* 43: 61-76
12. Deegan BM, et al. (2010) The relationship between cardiac output and dynamic cerebral autoregulation in humans. *J Appl Physiol* 109: 1424-1431
13. Ely SF, Hirsch CS (2000) Asphyxial deaths and petechiae: a review. *J Forensic Sci* 45: 1274-1277
14. Okusa N. Specificity and pathogenesis of petrous bone hemorrhage. *Acta Med Kinki Univ* in press
15. 住吉昭信 (1994) 血栓症. In: 飯島宗一, 石川栄世, 影山圭三, 島崎徹郎, 森 亘 (eds): *現代病理学大系 Vol 4*, 中山書店, pp248-270
16. Takada M, et al. (1991) Wischnevsky's gastric lesions in accidental hypothermia. *Am J Forensic Med Pathol* 12: 300-305
17. Gleckman AM, Evans RJ, Bell MD, Smith TW (2000) Optic nerve damage in shaken baby syndrome: detection by beta-amyloid precursor protein immunohistochemistry. *Arch Pathol Lab Med* 124: 251-256
18. Kellogg ND (2007) Committee on child abuse and neglect. Evaluation of suspected child physical abuse. *Pediatrics* 119: 1232-1241
19. Galaznik J (2010) Postmortem orbital hemorrhage in the investigation of child abuse. *Am J Forensic Med Pathol* 31: e7-e9
20. Geddes JF, et al. (2001) Neuropathology of inflicted head injury in children. II. Microscopic brain injury in infants. *Brain* 124: 1299-1306
21. Oehmichen et al. (2008) Shaken baby syndrome: re-examination of diffuse axonal injury as cause of death. *Acta Neuropathol* 116: 317-329
22. Squier W (2008) Shaken baby syndrome: the quest for evidence. *Dev Med Child Neurol* 50: 10-14