

局所脳圧迫による神経機能障害に関する 基礎的研究

第 2 編

術後に神経機能障害を残さないための術中の指標について

岡山大学脳神経外科教室 (指導: 西本 詮教授)

藤 本 俊 一 郎

(昭和54年 5月14日受稿)

Key words: 脳鏡, 局所脳圧迫, 水素クリアランス法,
体性感覚誘発電位

緒 言

脳神経外科手術において、脳鏡による局所脳圧迫は避けられない侵襲であり、それ自体が術後の morbidity に影響する重要な因子の一つであることが指摘されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。しかし脳鏡の使用に関する基礎的研究の報告は少ない。Bennett⁷⁾、Albin⁸⁾らは脳鏡による1時間の圧迫中および圧迫後30分間、体性感覚誘発電位 (Somatosensory Evoked Potential: SEP) の N₁ amplitude の変化を観察し、Brain Retraction Pressure (BRP) が30-40mmHgをこえると神経機能障害を残すことを報告した。著者も第1編において局所脳圧迫の病態を知るために持続的局所脳圧迫を行い、圧迫部の局所脳血流量が著明な減少をきたしていない、局所圧迫圧 (Local Compression Pressure: LCP) 30mmHgよりSEPのN₁ amplitudeが低下することを観察した。そして局所脳圧迫による神経機能障害には循環障害以外に、圧迫局所を中心とした脳組織の distortion による神経線維の損傷が、その重要な役割を果していることを明らかにした。

今回さらに実際の開頭術時と同じように間歇的局所脳圧迫を行い圧迫中、圧迫後の局所脳循環、神経機能および圧迫後の組織学的変化を観察することにより、術後に神経機能障害を残さないための術中の指標について検討した。

実 験 方 法

I. 実験動物および呼吸管理

体重8-12kgの雑種成犬25頭を用い、ketamine 10-15mg/kg筋肉内投与により気管内挿管した後、succinylcholine chlorideまたは gallamine triethiodide により無動化し、レスピレーター (Acoma AR-300) で動脈血 PCO₂ が35-45mmHgになるよう調節呼吸した。なお血液ガス分析は Radiometer 社製 PHM 72, MK 2 を用いて行った。

II. 脳鏡による間歇的局所脳圧迫方法

右前頭側頭部を中心に craniectomy を行い、脳表を傷つけないように注意深く硬膜を切除し、露出した脳表は流動パラフィンで被った。次にシリコンゴムで絶縁した幅1.5cmの脳鏡を定位脳固定装置に装着し、右第1次感覚野⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾で正中方向に移動することにより局所脳圧迫を行った。第1篇では図1-Aに示すように圧迫圧の減衰に対して圧迫をくり返すことにより30分間ほぼ一定の圧迫圧を保つ持続的局所脳圧迫を行ったのに対し、今回は実際の開頭手術と同じように、圧迫圧の経時的減衰をそのままにし、間歇的局所脳圧迫を行った。すなわち圧迫開始圧を20 (Dog 52-56), 40 (Dog 57-64), 60 (Dog 65-70), 80 (Dog 71-76) mmHgとし、それぞれ5分間の圧迫解除を繰り返して30分間の圧迫を4回行った (図1-B)。なおLCPは脳鏡先端に固定し、生理食塩水で満たしたポリエチレンマイクロバルーンをトランスデューサー (Statham P 37-A) に接続して測定した。

III. 局所脳血流量測定法

局所脳血流量は第1篇で述べた水素クリアランス

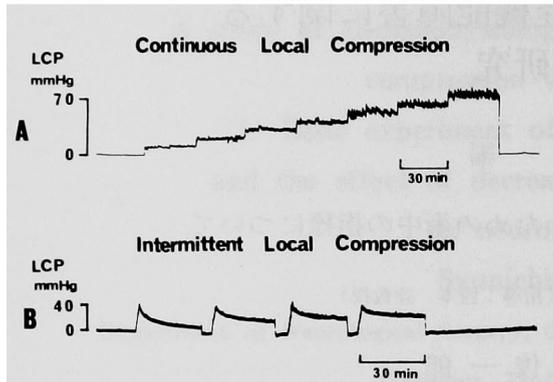


図1 間歇的局所脳圧迫における局所圧迫圧の推移を示す。

Aは第1篇で用いた持続的局所脳圧迫であり、圧迫圧の減衰に対して、圧迫をくり返すことにより圧迫圧を30分間ほぼ一定に保った。

Bは今回用いた間歇的局所脳圧迫であり、5分間の圧迫解除において30分間の圧迫を4回行い、各圧迫において圧迫圧の減衰を放置した。

法を用い、圧迫10、20分後および圧迫解除30、60、90、120分後の左右第1次感覚野の皮質血流量(Cortical Blood Flow: CoBF)を測定した。

IV. 体性感覚誘発電位

左右正中神経刺激(2V, 1Hz, 0.3msec)によるSEPを第1篇で述べたように単極誘導した。関電極は圧迫側では脳莖先端の銀ボール電極、非圧迫側では左第1次感覚野直上の頭蓋骨より硬膜に接するまで挿入した真鍮釘とし、不関電極は前頭洞に刺入した真鍮釘とした。SEPは圧迫5、10、20、30分後および圧迫解除30、60、90、120分後に記録し、CoBFの推移と比較した。SEPの早期反応は特殊投射系の視床皮質線維によるシナプス前電位と第1次感覚野皮質内ニューロンによるシナプス後電位を反映するといわれており¹³⁾、個体の変化すなわち覚醒、睡眠、環境、実験方法、薬剤投与などに影響されにくく、病態の変化をよく反映するといわれている¹⁴⁾ N₁ componentsの変化をみた。N₁ amplitudeはP₁ peakとN₁ peak間のamplitudeを測定し、N₁ latencyは正中神経刺激からN₁ peakまでの潜時を測定した。

V. 病理組織標本作成

圧迫解除2時間後、飽和KCl 10mlの左大腿静脈内投与により犬を屠殺し、脳を摘出した。摘出した脳は10%ホルマリンにて固定後病理組織標本に用いた。標本の染色はhematoxylin and eosin (H.E.)染色で行った。

実験結果

I. 局所圧迫の推移(図1, 4, 6)

それぞれの圧迫において、圧迫開始直後より圧迫圧の減衰がみられた。圧迫開始圧40、60、80mmHgにおいては、圧迫回数の増加とともに、圧迫圧減衰の程度が減少し、次第に加圧30分後の圧迫終了圧が上昇した。

II. 間歇的局所脳圧迫による皮質血流量、体性感覚誘発電位の変化

圧迫側における圧迫前の平均CoBFは、圧迫開始圧20、40、60、80mmHgでそれぞれ46.6(n=4)、47.9(n=7)、48.5(n=6)、49.5(n=6)ml/100g/minであり、非圧迫側ではそれぞれ47.2(n=3)、48.0(n=3)、46.0(n=3)、44.3(n=4)ml/100g/minであった。また圧迫側における圧迫前の平均N₁ latencyはそれぞれ18.0(n=5)、18.8(n=7)、18.6(n=6)、17.1(n=5)msecであり、非圧迫側ではそれぞれ17.2(n=5)、17.9(n=5)、17.9(n=4)、16.9(n=5)msecであった。これらの各圧迫開始圧における圧迫側のCoBF、N₁ latencyには有意差は認められはかった(表3)。

Intermittent Local Compression (compression side)

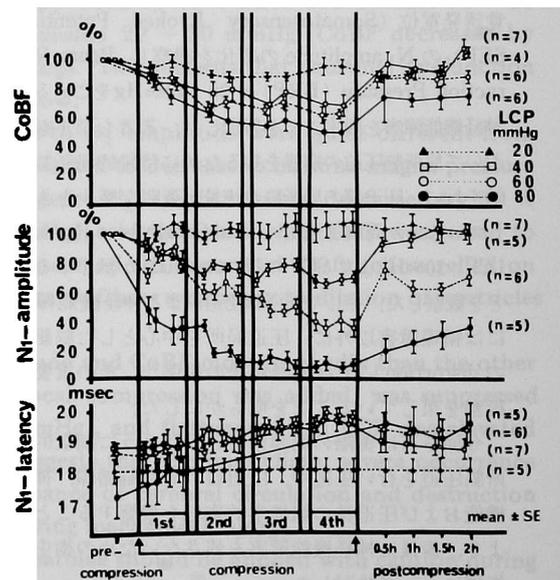


図2 圧迫中、圧迫解除後の圧迫側CoBF、N₁ amplitude、latency変化の平均値を示す。CoBF、N₁ amplitudeは圧迫開始前のコントロール値に対するパーセントで表わしてある。

LCP (mmHg)	Dog No.	CoBF	Before compression	1st compression (min.)		2nd compression (min.)		3rd compression (min.)		4th compression (min.)		After compression (min.)			
				10	20	10	20	10	20	10	20	30	60	90	120
20 (n=4)	52	ml/100g/min %	53.0	53.3	56.3	49.2	47.1	45.6	46.2	61.3	58.7	44.7	49.5	54.6	57.8
			100.0	100.6	106.2	92.8	88.9	86.0	87.2	115.7	110.8	84.3	93.5	103.0	109.1
	53	ml/100g/min %	42.0	36.5	38.5	38.5	35.9	34.8	36.7	35.6	40.0	35.6	36.7	39.2	43.0
			100.0	86.9	91.7	91.7	85.4	82.9	87.4	84.8	95.2	84.8	87.4	93.3	102.4
40 (n=7)	54	ml/100g/min %	47.6	46.8	46.5	42.1	45.7	42.3	43.4	46.8	47.3	46.2	46.7	43.2	45.3
			100.0	98.3	97.7	88.4	96.0	88.9	91.2	88.3	99.4	97.7	98.1	90.8	95.8
	55	ml/100g/min %	43.8	43.4	45.2	40.2	35.9	41.2	39.8	40.2	37.2	41.2	38.9	39.4	41.8
60 (n=6)	57	ml/100g/min %	46.4	46.0	46.0	22.4	27.1	23.0	25.9	28.3	23.5	56.2	49.3	40.4	44.1
			100.0	99.0	99.0	48.2	58.2	49.5	55.8	60.6	50.5	121.0	106.1	86.8	94.9
	58	ml/100g/min %	44.0	36.7	36.7	42.8	30.8	51.3	50.2	37.9	38.9	32.2	47.8	44.1	39.0
			100.0	83.4	83.4	97.4	70.0	116.6	114.1	86.1	88.4	73.2	108.6	100.2	88.6
	59	ml/100g/min %	42.0	41.4	37.2	34.9	45.9	41.9	44.0	36.3	36.3	50.7	46.5	39.8	52.3
			100.0	98.5	88.5	83.0	109.0	99.7	104.9	86.5	86.5	120.7	110.6	94.8	124.4
	60	ml/100g/min %	45.0	24.7	34.7	43.1	38.3	27.1	31.4	27.6	26.7	38.7	34.7	34.0	49.9
100.0			54.9	77.1	95.7	85.1	60.3	69.8	61.3	59.4	86.0	77.1	75.6	110.1	
61	ml/100g/min %	51.3	49.5	43.3	47.8	49.5	28.3	35.5	47.8	46.2	49.5	47.8	53.3	53.3	
		100.0	96.5	84.1	93.2	96.5	46.2	71.2	92.8	89.7	96.2	97.8	104.0	104.0	
62	ml/100g/min %	59.6	56.0	55.4	30.0	52.4	34.5	45.3	33.4	33.2	70.3	69.0	73.6	66.7	
		100.0	94.0	93.0	50.9	87.9	57.9	76.9	56.0	55.7	118.0	102.3	123.0	113.0	
63	ml/100g/min %	46.8	31.8	31.1	38.3	26.9	28.8	30.8	26.3	30.0	32.7	31.5	26.7	38.3	
		100.0	67.9	66.5	81.8	57.5	61.8	65.8	56.2	64.1	69.8	67.3	57.1	81.8	
80 (n=6)	65	ml/100g/min %	43.3	47.3	43.9	35.7	36.5	33.0	38.1	32.2	28.9	38.5	40.8	34.9	40.2
			100.0	95.4	101.4	82.4	84.3	76.2	88.0	74.4	66.7	88.9	94.2	80.6	92.8
	66	ml/100g/min %	47.7	41.9	38.9	24.8	27.7	25.7	25.2	32.2	27.7	39.2	43.0	53.0	47.0
			100.0	87.8	81.6	52.0	58.1	53.7	52.8	67.5	58.1	82.2	90.1	111.1	98.5
	67	ml/100g/min %	53.1	36.5	37.2	22.5	37.2	34.3	41.0	24.8	27.0	37.2	42.5	42.1	42.5
			100.0	68.7	70.0	42.3	70.0	64.6	77.2	46.7	50.9	70.0	80.0	79.3	80.0
68	ml/100g/min %	49.1	43.5	39.0	36.9	37.3	36.7	38.4	39.9	37.5	48.6	43.8	44.6	49.6	
		100.0	88.5	79.4	75.2	75.6	74.7	78.2	81.3	76.4	99.6	89.2	90.8	101.0	
69	ml/100g/min %	50.3	47.0	52.0	43.3	35.9	34.8	34.7	22.5	34.7	39.8	36.4	34.8	36.9	
		100.0	93.4	103.4	86.1	71.4	69.2	69.0	44.5	69.0	79.1	72.4	69.2	74.3	
70	ml/100g/min %	47.2	46.9	46.6	27.6	32.9	31.0	34.0	29.4	26.9	51.2	48.2	41.3	44.7	
		100.0	99.4	98.7	58.5	69.7	65.7	72.0	62.3	57.0	108.5	102.1	87.5	94.7	
80 (n=6)	71	ml/100g/min %	57.8	57.6	36.7	43.0	43.3	36.1	33.2	33.2	33.1	37.9	50.9	52.5	55.9
			100.0	99.7	63.5	74.4	74.9	62.5	57.4	57.4	57.3	65.6	88.0	90.8	96.7
	72	ml/100g/min %	49.1	42.3	39.4	35.9	37.9	37.7	38.9	38.9	38.5	48.6	40.8	45.6	43.7
			100.0	86.2	80.2	73.1	77.2	77.2	79.2	79.2	78.5	99.0	83.1	92.8	89.0
	73	ml/100g/min %	46.0	37.7	32.9	32.2	12.4	17.9	4.0	16.6	15.1	60.3	35.7	33.5	33.5
			100.0	82.0	71.5	69.9	27.0	38.9	30.5	36.1	32.8	131.0	77.7	72.9	72.9
74	ml/100g/min %	37.5	32.9	28.9	13.6	12.2	18.6	29.6	18.2	8.5	20.4	25.0	21.0	23.0	
		100.0	87.7	77.1	36.5	32.5	49.6	78.7	48.5	22.7	54.4	66.0	56.0	61.3	
75	ml/100g/min %	53.3	31.1	30.8	23.5	34.1	17.3	23.5	10.0	30.0	23.7	32.2	30.3	38.3	
		100.0	58.3	57.8	44.1	64.0	32.5	44.1	18.8	56.3	44.4	60.4	56.3	71.8	
76	ml/100g/min %	53.0	64.8	56.8	48.8	45.3	43.6	39.2	39.2	34.7	38.3	40.5	47.3	43.3	
		100.0	112.0	98.0	84.0	78.4	75.0	67.8	67.8	60.0	66.0	70.0	89.2	75.0	

表1. 圧迫中、圧迫解除後の圧迫側 CoBF の変化を示す。

1) 圧迫側

① 圧迫中

4回の圧迫による平均 CoBF の変化についてみると、圧迫開始圧80mmHg (n=6) ではそれぞれ74.7, 59.0, 59.6, 51.3%。60mmHg (n=6) では89.1, 71.5, 72.9, 63.0%。40mmHg (n=7) では84.5, 80.6, 79.8, 70.6%と減少した。一方20mmHg (n=4) では99.8, 88.1, 89.2, 97.6%と有意の変化を示さなかった(表1,3, 図2)。

また N₁ amplitude は圧迫開始圧80mmHg (n=5) ではそれぞれ33.5, 12.3, 7.9, 10.7%。60mmHg (n=6) では78.9, 58.7, 50.8, 34.8%。40mmHg (n=7) では80.9, 75.5, 78.3, 70.1%であった。一方20mmHg (n=5) では105.0, 102.6, 107.0, 108.0%と有意の変化を示さなかった(表2,3, 図2)。

このように圧迫開始圧80, 60, 40mmHgでは圧迫回数増加とともに CoBF の減少, N₁ amplitude の

低下が進行する傾向を示した。また圧迫開始圧の増加とともに、4回目の圧迫終了時の CoBF 減少, N₁ amplitude の低下が進行する傾向を示した。

② 圧迫解除後

圧迫解除30, 60, 90, 120分後の CoBF の変化を平均値でみてみると、圧迫開始圧80mmHg (n=6) では76.6, 74.2, 76.3, 77.8%。60mmHg (n=6) では88.1, 88.0, 86.4, 90.2%。40mmHg (n=7) では97.8, 95.7, 91.6, 102.3%。20mmHg (n=4) 90.2, 92.0, 94.4, 100.7%であった(表1,3, 図2)。

また N₁ amplitude はそれぞれ80mmHg (n=5) では19.6, 25.8, 30.7, 36.7%。60mmHg (n=6) では75.1, 62.7, 62.8, 70.7%。40mmHg (n=7) では92.8, 95.8, 103.7, 101.2%。20mmHg (n=5) では103.0, 107.3, 101.5, 101.1%であった(表2,3, 図2)。

このように圧迫開始圧80, 60, 40mmHgでは CoBF は圧迫解除30分ではほぼ圧迫解除2時間後のレベル

LCP (mmHg)	Dog No.	N ₁ Components	Before compression	1st compression (min.)				2nd compression (min.)				3rd compression (min.)				4th compression (min.)				After compression (min.)			
				5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	30	60	90	120
				20 (n=5)	52	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 18.0	66.7 18.0	86.7 18.0	128.0 18.0	105.3 18.0	106.7 18.0	105.3 18.0	100.0 18.0	100.0 18.0	94.7 18.0	77.3 18.0	101.3 18.0	110.7 18.0	109.3 18.0	108.0 18.0	110.7 18.0	105.0 18.0
53	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 16.5	90.0 16.5	98.8 16.5	102.5 16.5	112.5 16.5	103.8 16.5	116.3 16.5	115.0 16.5	116.3 16.5	130.0 16.5	135.0 16.5	137.5 16.5	126.3 16.5	140.0 16.5	141.3 16.5	142.5 16.5	140.0 16.5	130.0 16.5	130.0 16.5	126.3 16.5	120.0 16.5	120.0 16.5
54	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 18.5	94.7 18.5	98.5 18.5	106.3 18.5	106.3 18.5	88.0 18.5	94.0 18.5	102.3 18.5	105.0 18.5	103.6 18.5	103.6 18.5	106.8 18.5	106.8 18.5	94.6 18.5	100.0 18.5	100.0 18.5	108.0 18.5	105.0 18.5	115.2 18.5	104.0 18.5	104.0 18.5	104.0 18.5
55	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 19.0	108.5 19.0	105.2 19.0	98.0 19.0	102.3 19.0	96.0 19.0	102.3 19.0	105.4 19.0	102.3 19.0	86.2 19.0	90.8 19.0	94.0 19.0	94.0 19.0	84.0 19.0	88.0 19.0	88.0 19.0	86.0 19.0	84.0 19.0	86.0 19.0	86.0 19.0	84.0 19.0	84.0 19.0
56	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 18.0	90.0 18.0	115.6 18.0	102.6 18.0	98.7 18.0	94.8 18.0	89.6 18.0	97.4 18.0	89.6 18.0	93.5 18.0	90.4 18.0	94.8 18.0	97.4 18.0	86.0 18.0	88.0 18.0	86.0 18.0	86.0 18.0	90.9 18.0	93.5 18.0	96.1 18.0	101.2 18.0	96.1 18.0
40 (n=7)	57	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 19.5	113.6 20.0	57.6 19.5	64.4 19.5	44.0 19.5	81.4 20.0	84.7 20.0	84.7 20.0	84.7 20.0	57.6 20.0	70.5 20.0	84.7 20.0	94.7 20.0	54.2 20.0	57.6 20.0	61.0 20.0	79.6 20.0	94.9 20.0	101.7 20.0	132.0 20.0	122.0 20.0
58	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 18.5	113.3 18.5	107.6 18.5	88.6 18.0	79.0 18.0	75.2 18.0	61.9 18.0	65.7 18.0	63.8 18.0	75.2 18.0	69.5 18.0	64.7 18.0	70.5 18.0	82.9 18.0	67.6 18.0	71.4 18.0	71.4 18.0	64.0 18.0	81.0 18.0	75.0 18.0	78.0 18.0	78.0 18.0
59	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 18.5	72.0 18.5	100.0 18.5	100.0 18.5	107.0 18.0	59.0 18.0	89.0 18.0	75.0 18.0	63.0 18.0	56.0 18.0	77.0 18.0	76.0 18.0	69.0 18.0	59.0 18.0	59.0 18.0	59.0 18.0	64.0 18.0	64.0 18.0	81.0 18.0	75.0 18.0	78.0 18.0	78.0 18.0
60	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 19.0	76.0 19.0	80.0 19.0	92.0 19.0	75.0 20.0	77.0 20.0	80.0 20.0	62.0 20.0	63.0 20.0	64.0 20.0	61.0 20.0	64.0 20.0	65.0 20.0	63.0 20.0	68.0 20.0	74.0 20.0	78.0 20.0	98.0 20.0	108.0 20.0	110.0 20.0	109.0 20.0	109.0 20.0
61	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 19.5	97.9 19.5	89.6 19.5	81.3 19.5	81.3 19.5	68.8 19.5	83.3 19.5	87.5 19.5	87.5 19.5	89.6 19.5	93.8 19.5	97.9 19.5	82.3 19.5	83.3 19.5	83.3 19.5	87.5 19.5	83.3 19.5	106.3 19.5	109.4 19.5	109.4 19.5	106.3 19.5	106.3 19.5
62	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 17.5	85.0 17.5	80.2 17.5	87.0 17.5	92.6 17.5	80.6 18.0	82.0 18.0	83.4 17.5	74.5 17.5	64.2 18.0	72.3 18.0	72.4 18.0	69.6 18.0	64.6 18.0	60.0 18.0	63.0 18.0	57.2 18.0	89.0 18.0	96.8 18.0	103.5 18.0	98.0 18.0	98.0 18.0
64	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 19.0	98.7 19.0	89.3 19.0	89.3 19.0	87.3 19.0	66.6 19.5	78.6 19.5	84.0 19.5	92.0 19.5	77.3 19.5	-	86.0 19.5	97.3 19.5	70.7 20.0	-	66.7 20.0	57.3 20.0	90.7 20.0	86.7 20.0	109.3 20.0	109.3 20.0	109.3 20.0
65	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 18.5	82.0 18.0	86.0 18.0	114.0 18.0	86.0 18.0	79.0 18.0	43.0 18.0	111.0 18.0	94.0 18.0	65.0 18.0	43.0 18.0	68.0 18.0	71.0 18.0	15.0 18.0	12.0 18.0	9.0 18.0	22.0 18.0	88.0 18.0	57.0 18.0	68.0 18.0	77.0 18.0	77.0 18.0
66	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 20.0	63.0 20.0	108.7 20.0	108.7 20.0	100.0 20.0	50.0 20.0	45.0 20.0	37.0 20.0	45.7 20.0	32.6 20.0	25.0 20.0	24.0 20.0	21.7 20.0	23.9 20.0	23.9 20.0	26.3 20.0	17.4 20.0	78.0 20.0	87.0 20.0	73.9 20.0	91.3 20.0	91.3 20.0
67	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 18.5	56.6 18.0	64.6 18.0	64.6 18.0	74.7 18.0	57.6 18.5	65.7 18.5	62.6 18.5	48.5 18.5	53.5 19.5	53.5 19.5	49.5 19.5	49.5 19.5	50.5 19.5	41.4 19.5	51.5 19.5	44.4 19.5	67.7 19.5	62.6 19.5	57.6 19.5	62.6 19.5	62.6 19.5
68	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 17.5	82.9 17.5	108.6 17.5	108.6 17.5	71.4 17.5	51.4 17.5	80.0 17.5	80.0 17.5	49.7 18.0	71.4 18.0	54.2 18.0	34.3 18.0	54.2 18.0	40.0 18.0	40.0 18.0	51.4 18.0	42.8 18.0	88.5 18.0	40.0 18.0	45.0 18.0	45.8 18.0	45.8 18.0
69	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 17.5	82.0 18.0	78.5 18.0	84.0 18.0	76.6 18.0	58.2 18.5	54.5 18.5	54.5 18.5	56.2 18.5	48.5 19.0	48.5 19.0	52.0 19.0	48.5 19.0	45.5 19.0	44.6 19.0	44.6 19.0	38.2 19.0	53.2 19.0	59.4 19.0	64.5 19.0	68.7 19.0	68.7 19.0
70	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 19.5	60.8 19.5	74.7 19.5	74.7 19.5	64.5 19.5	68.3 19.5	73.9 19.5	68.8 19.5	58.1 19.5	60.3 19.5	58.7 19.5	54.7 19.5	60.0 19.5	61.3 20.0	40.0 20.0	60.3 20.0	44.0 20.0	74.7 20.0	72.0 20.0	68.0 20.0	78.7 20.0	78.7 20.0
80 (n=5)	71	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 16.0	50.7 16.0	80.0 16.0	16.4 16.0	31.8 16.0	36.4 16.0	3.6 16.0	16.4 16.0	9.1 16.0	9.1 16.0	13.6 16.0	7.3 16.0	8.2 16.0	9.1 16.0	6.4 16.0	8.2 16.0	6.4 16.0	45.5 16.0	47.3 16.0	49.1 16.0	49.1 16.0
72	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 16.0	40.6 16.0	40.6 16.0	12.5 16.5	12.5 16.5	31.3 16.5	21.9 16.5	18.8 16.5	18.0 16.5	25.0 16.5	25.0 16.5	43.8 16.5	12.5 16.5	18.0 16.5	25.0 16.5	21.9 16.5	21.9 16.5	56.3 16.5	40.6 16.5	53.1 16.5	31.3 16.5	31.3 16.5
74	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 19.5	62.0 20.0	29.0 20.0	52.0 20.0	36.0 20.0	77.0 20.0	21.0 20.0	14.0 20.0	0 20.0	0 20.0	0 20.0	0 20.0	0 20.0	0 20.0	0 20.0	0 20.0	0 20.0	0 20.0	0 20.0	0 20.0	33.0 20.0	21.0 20.0
75	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 16.0	67.9 16.0	69.1 16.0	63.0 16.0	63.0 16.0	9.8 16.0	25.9 16.0	34.6 16.0	8.6 16.0	14.3 16.0	24.4 16.0	4.9 16.0	9.8 16.0	6.2 16.0	9.8 16.0	8.6 16.0	17.3 16.0	16.0 16.0	28.5 16.0	34.6 16.0	50.6 16.0	50.6 16.0
76	N ₁ amp. (%) N ₁ lat.(msec)	100.0 18.0	22.0 18.0	15.9 18.0	22.0 18.0	24.4 18.0	18.3 18.0	13.4 18.0	11.0 18.0	18.3 18.0	14.6 18.0	17.1 18.0	9.8 18.0	9.8 18.0	13.4 18.0	14.6 18.0	6.1 18.0	6.1 18.0	19.5 18.0	14.6 18.0	18.3 18.0	19.5 18.0	19.5 18.0

表 2. 圧迫中, 圧迫解除後の圧迫側 N₁ components の変化を示す.

に回復するが, N₁ amplitude は時間経過とともに回復してゆく傾向を示した。そして80mmHgでは圧迫解除2時間後 CoBF, N₁ amplitude ともに回復が悪く, 圧迫局所に強い損傷がおこなっていることが示唆された。一方圧迫開始圧20mmHgでは圧迫中と同様に CoBF, N₁ amplitude ともに有意の変化を示さなかった。

次に圧迫解除2時間後の N₁ latency についてみると, 80mmHg(n=5)では5例全例で延長し, 平均2.5msecの延長を残した(P<0.05)。また60mmHg(n=6)でも有意ではないが6例中2例が2.0msecの延長を示し, 平均0.8msecの延長を残した。一方40mmHg(n=7), 20mmHg(n=5)では N₁ latency の延長を示さなかった(表1, 3, 図2)。

2) 非圧迫側

圧迫開始圧80mmHgの5例中1例において N₁ amplitude が低下した以外には, いずれの圧迫開始圧においても CoBF, N₁ components は著明な変化を示さなかった(表3, 図3)。

以上の結果は圧迫中, 圧迫解除後の CoBF, N₁ amplitude, N₁ latency の変化を平均値でみたものであるが, 次に圧迫開始圧80mmHgおよび60mmHgの代表例を示す。図4は圧迫開始圧80mmHgの1例(Dog 75)を示したものであるが, 圧迫回数の増加とともに CoBF, N₁ amplitude の低下は進行し, 4回目の圧迫終了時には CoBF は56%, N₁ amplitude は17%に低下した。また圧迫解除2時間後も CoBF は72%, N₁ amplitude は51%と障害を残し, N₁ latency も図5に示すように2.0-2.5msecの延長を残した。なお非圧迫側の CoBF, N₁ amplitude は著明な変化を示さなかった。図6は圧迫開始圧60mmHgの1例(Dog 70)を示したものであるが, 4回目の圧迫終了時 CoBF は57%, N₁ amplitude も44%まで低下した。圧迫解除2時間後 CoBF は95%まで回復したが, N₁ amplitude は79%までしか回復しなかった。なお非圧迫側では, CoBF, N₁ amplitude ともに著明な変化を示さなかった。

Changes of CoBF and N₁ Components following Intermittent Local Compression

LCP (mmHg)	N		Before compression	1st compression (min.)			2nd compression (min.)			3rd compression (min.)			4th compression (min.)			After compression (min.)										
				5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30							
				Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE					
Compression Side	Cortical Blood Flow	20	4	Mean	46.5	45.0	46.6	42.5	41.2	41.0	41.5	46.0	45.8	41.9	43.0	44.1	47.0									
				SE	2.4	2.4	3.5	2.4	3.0	2.3	2.0	5.6	4.8	2.4	3.1	3.6	3.7									
				Mean	47.9	40.9	40.6	37.0	38.7	33.6	37.7	33.9	33.5	47.2	45.5	44.6	49.1									
		40	7	Mean	48.5	42.9	42.9	31.8	34.6	32.6	35.2	30.2	30.5	42.4	42.5	41.8	43.5									
				SE	1.3	1.6	2.3	3.3	4.1	1.6	2.3	2.5	1.9	2.4	1.6	2.8	1.9									
				Mean	49.5	44.4	37.6	32.8	30.9	28.5	29.7	26.0	29.6	38.2	37.5	38.4	39.6									
		60	6	Mean	100.0	96.2	99.8	91.2	88.1	89.0	89.2	97.7	97.6	90.2	92.0	94.4	100.7									
				SE	0	3.1	3.4	1.0	3.0	2.4	1.1	6.6	5.4	3.4	2.4	2.9	3.2									
				Mean	100.0	84.9	84.5	78.6	80.6	70.3	79.8	71.4	70.6	97.8	95.7	91.6	102.3									
		80	8	Mean	100.0	88.9	89.1	66.1	71.5	67.4	72.9	62.8	63.0	88.1	88.0	86.4	90.2									
				SE	0	4.4	5.7	7.2	3.5	3.3	4.8	6.0	3.8	5.8	4.3	5.8	4.4									
				Mean	100.0	89.3	74.7	63.7	59.0	56.0	59.6	51.3	51.3	76.7	74.2	76.3	77.8									
	N ₁ - Components	N ₁ - Amplitude(%)	20	5	Mean	100.0	89.9	101.0	107.5	105.0	97.9	101.5	104.0	102.6	101.6	99.4	106.9	107.0	103.8	106.2	107.5	108.0				
					SE	0	6.7	4.7	5.3	2.3	3.3	4.7	3.0	4.3	7.6	9.8	8.0	5.7	10.0	9.4	9.5	8.8				
					Mean	100.0	93.8	86.3	86.1	80.9	72.9	79.9	77.5	75.5	69.1	74.4	78.2	78.3	68.2	66.6	68.9	70.1	92.8	95.6	103.7	101.2
			40	7	Mean	100.0	71.2	86.9	92.4	78.9	60.8	60.4	67.0	58.7	55.2	47.2	47.1	50.8	39.4	35.0	40.9	34.8	75.1	62.7	62.8	70.7
					SE	0	5.0	7.5	8.5	5.1	4.5	6.2	10.3	7.3	5.6	4.9	6.4	6.7	7.0	5.7	7.7	4.9	5.5	6.5	4.2	6.4
					Mean	100.0	48.6	40.9	33.2	33.5	34.6	17.2	19.0	12.3	12.6	15.1	14.4	7.9	9.2	11.7	8.6	10.7	19.6	25.8	30.7	36.7
		60	6	Mean	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	
				SE	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
				Mean	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	19.1	19.4	19.3	19.0	19.4	19.5	19.4	19.5	19.4	19.8	19.8	19.6	19.0	18.8	18.8	18.7	
		80	5	Mean	18.6	18.5	18.6	18.8	18.9	18.6	19.0	18.9	19.0	19.1	19.5	19.5	19.6	19.6	20.0	19.9	19.8	19.4	19.4	19.4	19.4	
				SE	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.6	0.4	0.6	0.6	
				Mean	17.1	17.5	17.6	18.0	17.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.6	19.4	19.1	19.6	
N ₁ - Latency(msec)	20	3	Mean	47.2	47.6	46.7	47.7	43.5	46.3	45.4	46.0	45.1	46.3	44.9	45.6	46.3										
			SE	2.0	2.4	1.8	3.1	3.7	2.5	3.2	3.2	4.0	2.4	2.9	3.1	1.9										
			Mean	48.0	48.7	51.3	45.8	49.6	45.6	47.6	48.3	46.9	43.6	50.4	46.8	45.2										
	40	3	Mean	46.0	44.7	46.0	47.0	43.5	45.6	44.2	47.2	44.8	44.7	45.3	42.7	45.7										
			SE	0.9	0.6	1.7	1.8	0.6	2.4	0.6	3.1	4.3	0.8	1.7	1.5	1.1										
			Mean	44.3	44.4	40.4	46.3	42.1	43.5	42.8	40.4	42.6	47.2	45.8	41.0	46.1										
60	4	Mean	100.0	100.7	99.0	100.9	91.8	97.9	96.0	97.5	95.8	98.0	95.0	96.4	98.1											
		SE	0	0.8	3.4	3.0	4.7	2.3	2.7	6.6	7.4	1.7	4.0	3.0	1.7											
		Mean	100.0	101.1	107.5	94.5	103.8	94.9	99.1	97.2	97.4	90.3	102.7	96.9	94.4											
80	4	Mean	100.0	97.1	99.9	102.1	94.5	99.0	96.1	102.0	96.8	97.1	98.4	93.3	99.3											
		SE	0	3.2	2.1	4.1	0.7	4.6	2.2	4.4	7.2	0.5	2.7	1.7	0.7											
		Mean	100.0	101.2	92.1	105.4	96.0	98.9	97.5	92.3	95.9	107.6	104.6	94.5	105.4											
N ₁ - Components	N ₁ - Amplitude(%)	20	5	Mean	100.0	107.0	104.9	108.2	110.0	122.3	118.8	112.8	112.5	112.4	107.4	108.5	113.2	111.7	108.6	111.7	112.1	111.8	112.4	112.9	110.5	
				SE	0	1.2	5.2	3.9	7.3	4.3	4.6	8.6	6.3	6.3	5.5	4.3	3.5	2.9	2.1	4.6	3.7	5.1	6.3	5.0	5.4	
				Mean	100.0	104.9	101.5	105.1	93.0	103.3	97.5	114.9	107.2	100.7	101.0	99.5	101.8	105.3	107.0	104.9	107.2	107.6	113.6	110.2	114.7	
		40	4	Mean	100.0	106.7	101.6	107.0	100.9	112.9	104.8	107.8	103.3	105.1	104.1	107.5	109.1	112.5	108.5	108.3	110.5	105.8	103.3	104.9	107.5	
				SE	0	3.9	1.1	0.6	3.4	6.8	6.1	4.5	0.4	6.4	4.3	3.8	0.9	3.0	1.9	2.1	2.5	4.1	2.9	3.6	3.9	
				Mean	100.0	106.0	99.7	100.9	102.2	93.0	95.6	92.4	92.8	99.1	101.2	98.2	102.0	96.6	96.4	97.2	96.4	93.5	91.2	91.6	98.1	
	60	5	Mean	100.0	106.0	99.7	100.9	102.2	93.0	95.6	92.4	92.8	99.1	101.2	98.2	102.0	96.6	96.4	97.2	96.4	93.5	91.2	91.6	98.1		
			SE	0	2.8	3.4	2.4	3.6	6.7	3.3	9.1	7.4	8.4	9.5	8.8	10.8	11.3	12.7	11.0	12.1	9.0	9.4	11.6	12.9		
			Mean	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2		
	80	5	Mean	17.9	17.8	18.0	17.8	17.8	18.0	17.8	17.8	17.7	17.6	17.6	17.7	17.7	17.7	17.6	17.6	17.6	17.6	17.7	17.7	17.7		
			SE	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8		
			Mean	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9		
90	5	Mean	16.9	16.8	16.9	16.9	16.9	17.1	17.0	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.2	17.1	17.1	16.9	16.8	16.9	16.8			
		SE	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5			

表3 圧迫中、圧迫解除後のCoBF, N₁ componentsの平均値を示す。

Ⅲ. 間歇的局所脳圧迫による病理組織学的変化 (表4)

圧迫解除2時間後の圧迫部の肉眼的変化としてはmidline structuresの偏位(図7-C), 回の扁平化(図7-B, C), 肉眼的出血(図7-B, C), 脳腫脹(図7-C)が認められ, 光顕的所見としては浮腫(図8-B, 図10-A, B, 図11-A, B), 小出血(図8-B, 9-A, 10-A, 11-A, B), 神経線維の断裂(図9-B)が認められた。

圧迫開始圧とこれらの組織学的変化には次の傾向がみられた。圧迫開始圧が40mmHgになると圧迫直下の皮質に浮腫が出現し, 60mmHgになると皮質に浮腫とともに小出血が出現した。80mmHgになると浮腫, 小出血が白質にも出現し, 肉眼的変化も加わった。なお非圧迫側においては組織学的変化は認められなかった。

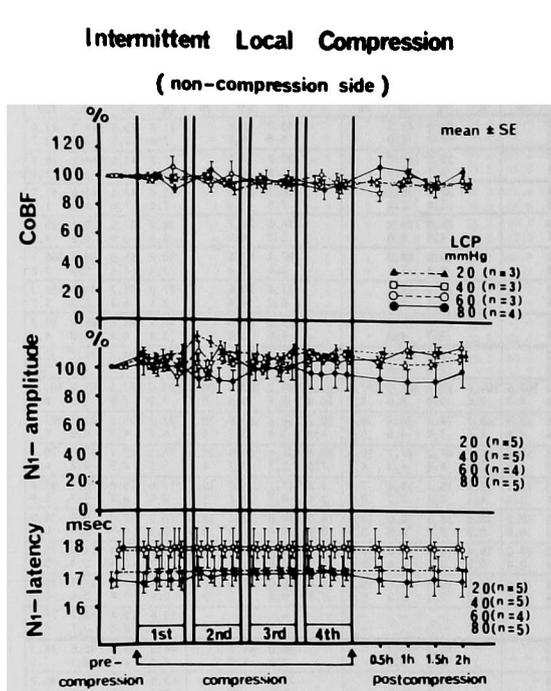


図3 圧迫中、圧迫解除後の非圧迫側 CoBF, N₁ amplitude, latency 変化の平均値を示す。いずれの圧迫開始圧においても CoBF, N₁ components とともに著明な変化を示さなかった。

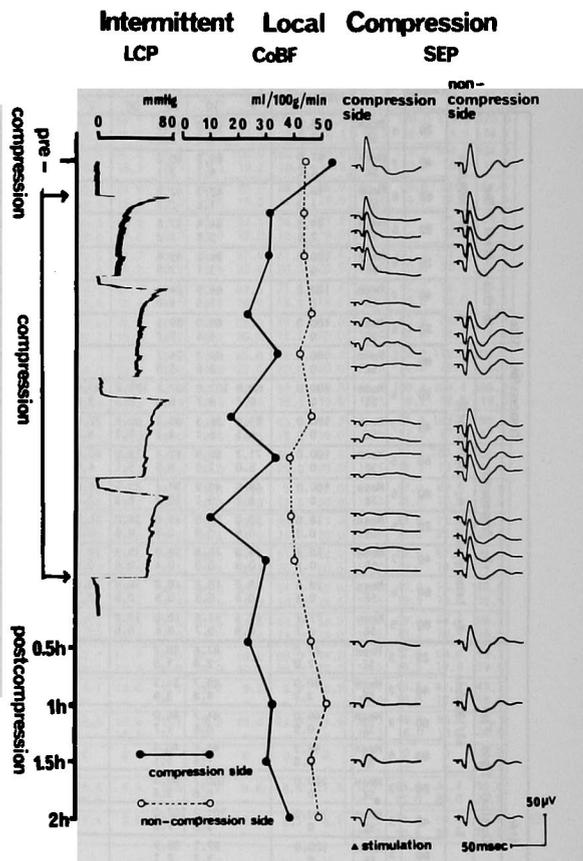


図4 圧迫開始圧80mmHgの代表的1例を示す。(Dog 75)

圧迫解除2時間後圧迫側において CoBFは72%, N₁ amplitudeも51%までの回復にとどまった。なお非圧迫側では圧迫中、圧迫解除後を通じて CoBF, N₁ amplitude とともに著明な変化を示さなかった。

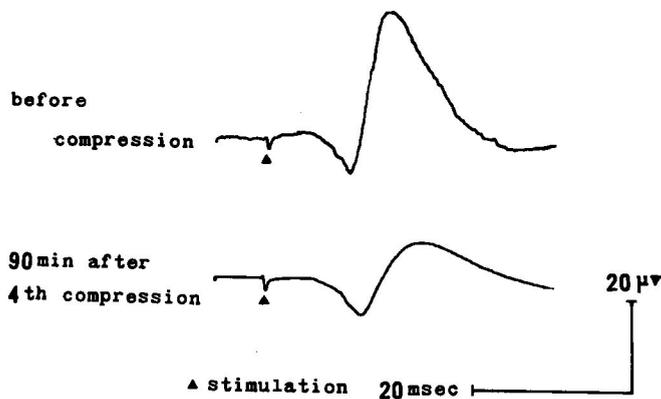


図5 図4に示した Dog 75の N₁ latency の変化を示す。(3回平均加算)
圧迫前の N₁ latency は18.0msecであったが、圧迫解除90分後には20.0msecに延長した。

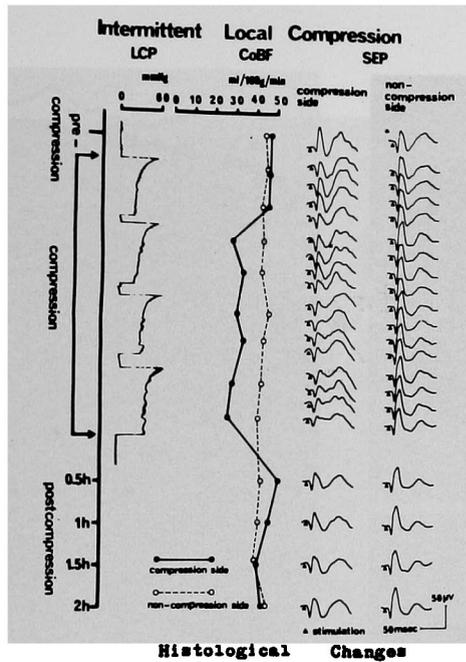


図6 圧迫開始圧60mmHgの代表的1例を示す。(Dog 70)

圧迫解除2時間後圧迫側 CoBFは95%まで回復したが、N₁ amplitudeは79%までしか回復しなかった。なお非圧迫側では圧迫中、圧迫後を通じて CoBF, N₁ amplitudeともに著明な変化を示さなかった。

LCP mmHg	Dog No.	Macroscopic findings				Light microscopic findings			N ₁ amplitude at 2 hours after 4th compression (%)
		Shift of midline structures	Flattening of gyri	Macro-hemorrhage	Swelling	Tearing of nerve fibers	Micro-hemorrhage	Edema	
20 (n=3)	52	-	-	-	-	-	-	-	108.0
	54	-	-	-	-	-	-	-	104.0
	56	-	-	-	-	-	+	-	89.6
40 (n=4)	57	-	-	-	-	-	-	-	122.0
	58	-	-	-	-	-	-	cortex	85.7
	59	+	+	+	-	-	+	cortex, white matter	78.0
	61	-	-	-	-	-	-	-	106.3
60 (n=4)	65	-	-	-	±	-	+	cortex	77.0
	67	+	+	+	-	-	+	cortex	62.6
	68	-	+	+	-	+	+	cortex, white matter	45.8
	70	-	+	-	-	-	-	cortex	78.7
80 (n=5)	72	+	+	+	+	-	+	cortex, white matter	31.3
	73	-	+	+	-	-	+	cortex	-
	74	+	+	+	+	+	+	cortex, white matter	33.0
	75	-	+	-	-	-	+	cortex	50.6
	76	+	+	+	+	+	+	cortex, white matter	19.5

表4 圧迫解除2時間後の組織学的変化を示す。

圧迫開始圧20mmHgでは変化はほとんどみられず、40mmHgでは皮質の浮腫、60mmHgでは皮質の浮腫と小出血、80mmHgでは浮腫、小出血が白質にまでおよび、肉眼的変化が出現する傾向を示した。

LCP (mmHg)	N ₁ amplitude (%)	~100	~90	~80	~70	~60	~50	~40	~30	~20	~10
		20 (n=5)	3	•	2	•	•	•	•	•	•
40 (n=7)	4	1	1	1	•	•	•	•	•	•	
60 (n=6)	•	1	•	2	2	•	1	•	•	•	
80 (n=5)	•	•	•	•	•	1	1	2	•	1	

表5 各圧迫開始圧における圧迫解除2時間後のN₁ amplitudeの例数を示す。

圧迫開始圧20mmHgでは5例全例が80%以上、40mmHgでは7例中6例が80%以上に回復したのに対し、60mmHgでは6例中5例が80%以下であり、80mmHgでも5例全例が60%以下であり、後2者は回復が悪い傾向を示した。

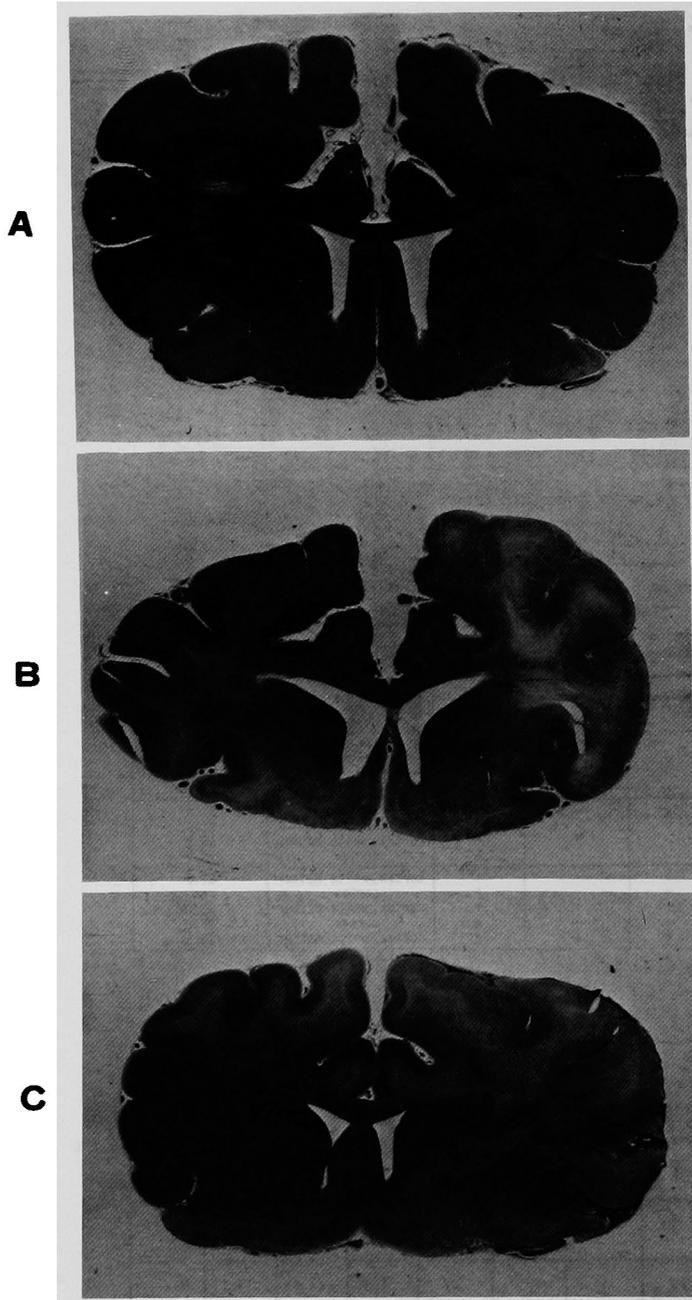


図7 圧迫解除2時間後の代表的肉眼所見を示す。
 A : 20mmHg(Dog 54)では異常所見は認められない。
 B : 60mmHg(Dog 68)では出血と回の扁平化が認められる。
 C : 80mmHg (Dog 76) では midline structures の偏位, 出血, 回の扁平化, 脳腫脹が認められる。

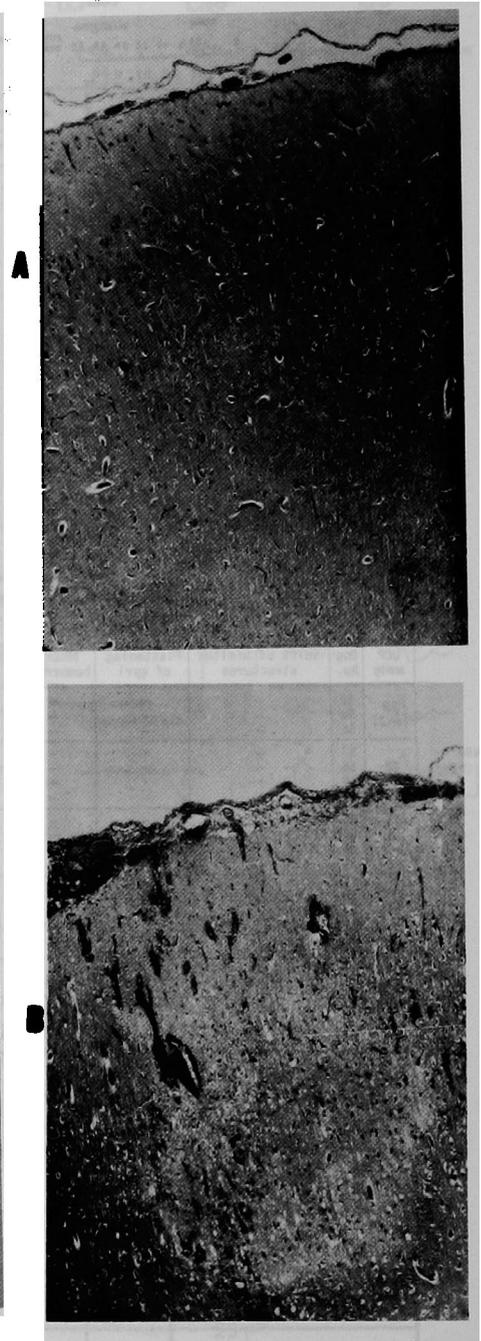


図8 Dog 73 (80mmHg) の病理学的変化を示す。
 A ((非圧迫側) : 異常所見認められず。
 B (圧迫側) : 皮質の浮腫とうっ血性出血を認める。
 (×100)

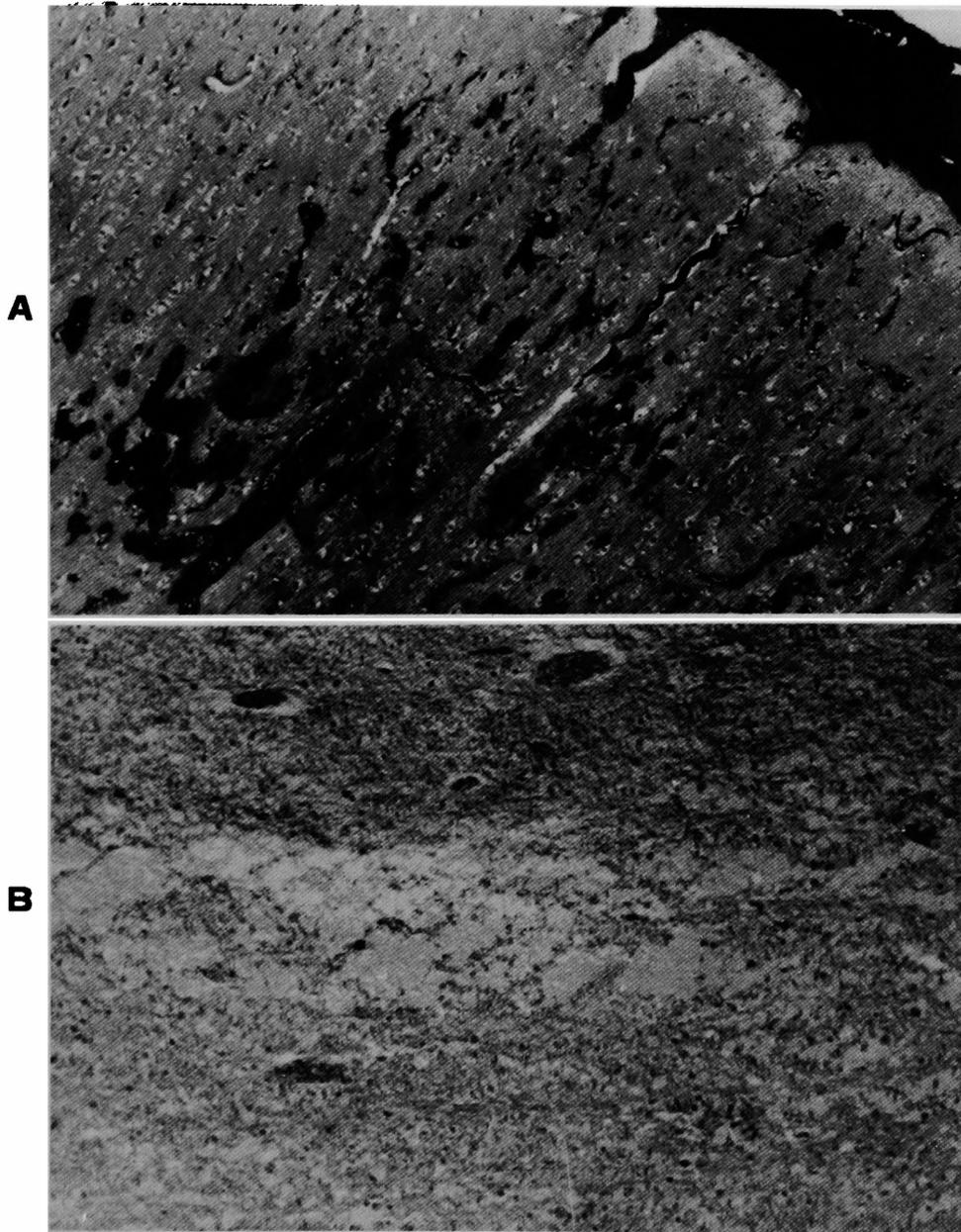
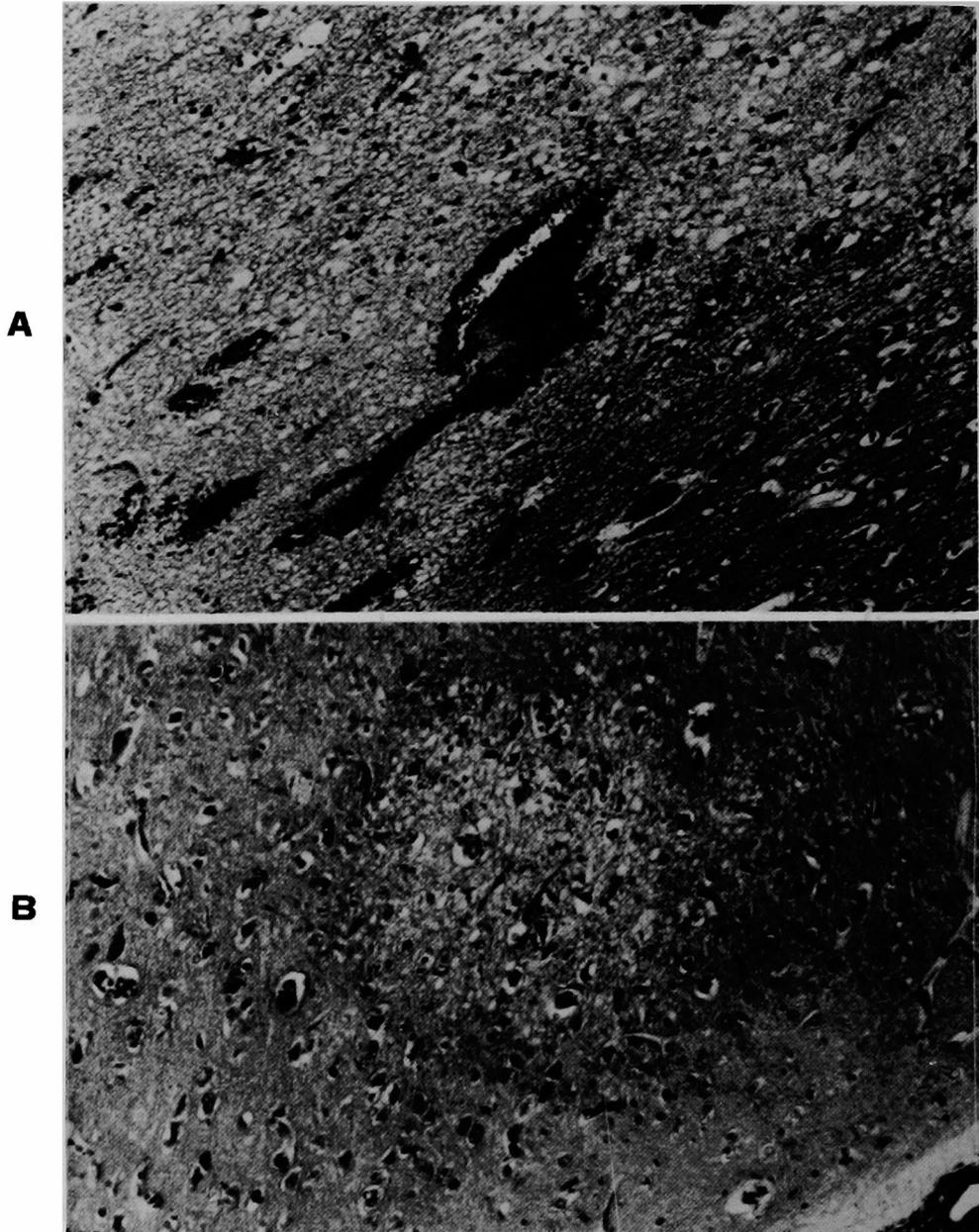
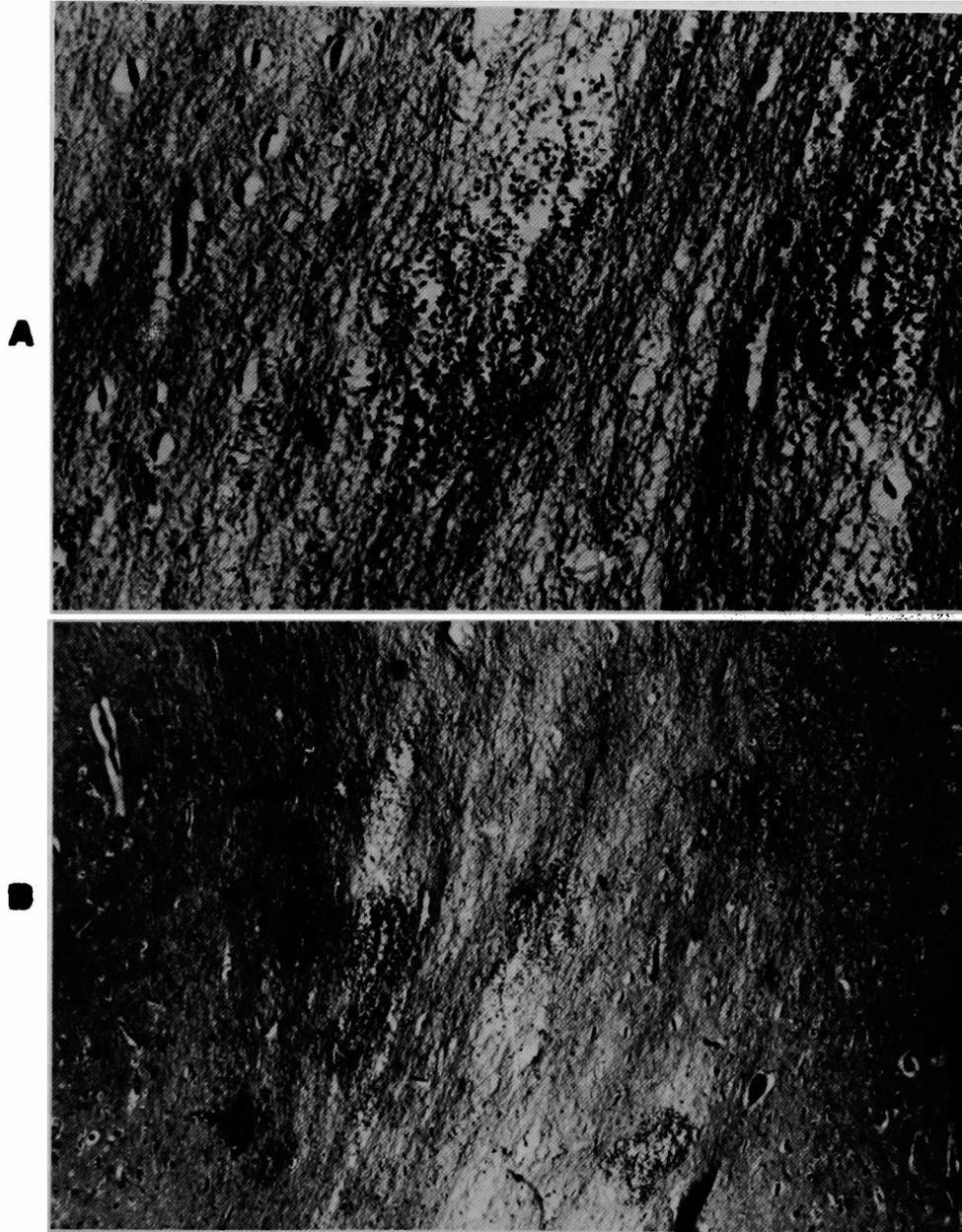


図9 Dog 74 (80mmHg) の病理学的変化を示す。
A：圧迫側のクモ膜下出血，皮質のうっ血性出血を示す。(×100)
B：白質における神経線維の断裂を示す。(×200)



脳皮質の病理学的変化

- 図10 A : Dog 73 (80 mmHg) における皮質のうっ血性出血と浮腫を示す。(×200)
B : Dog 59 (40 mmHg) における皮質の局所的浮腫を示す。(×200)



白質の病理学的変化

図11 Dog 72 (80mmHg) における白質の小出血, 浮腫を示す.
(A : $\times 100$, B : $\times 200$)

考 察

I. 圧迫回数の増加について

圧迫開始圧が40, 60, 80 mmHgでは圧迫回数の増加とともに、30分後の圧迫終了圧が上昇し CoBFの減少, N₁ amplitudeの低下が進行した。このうち進行性の圧迫終了圧の上昇の原因として、圧迫回数の増加とともに圧迫局所で浮腫, 出血が増強し, 次第に圧迫部脳組織の elastance ($\Delta P/\Delta V$) の上昇¹⁵⁾, あるいは compliance ($\Delta V/\Delta P$) の低下¹⁶⁾¹⁷⁾が進行するため、局所脳圧迫の際の脳の代償的変形が困難となり、圧迫減衰の程度が減少することが考えられる。また進行性の CoBFの減少, N₁ amplitudeの低下程度についてみると、CoBFの減少と N₁ amplitudeの低下は必ずしも一致した変化を示さなかった。特に60, 80 mmHgの高い圧迫開始圧の群では、2回目の圧迫以後 CoBFはほぼ一定の減少程度であるのに対し、N₁ amplitudeは圧迫回数の増加とともに進行性に低下した。この事実から特に高い圧迫開始圧で脳圧迫を行うと、圧迫回数の増加につれて神経機能が障害され、その背景には局所脳循環障害とともに、神経細胞あるいは線維の機械的損傷が関与していることが示唆される。

II. 術後に神経機能障害を残さないための術中の指標について

1) 体性感覚誘発電位

SEPの N₁ componentsは視床皮質線維または第1次感覚野の皮質内ニューロンの機能を反映しており、amplitudeは反応に関与する神経線維の数、個々の線維の神経活性の強さにより変化し、latencyは伝導速度により変化することが言われている¹³⁾。このように今回著者が検討した N₁ componentsは CoBFを測定した脳近接部位の神経機能を忠実に表わすものであり¹⁴⁾、圧迫中および圧迫後の神経機能の変化を観察するのに有用な方法である。

圧迫解除2時間後の N₁ componentsから許容圧迫開始圧について検討してみると、N₁ amplitudeは圧迫開始圧40 mmHgでは7例中6例が80%以上であり、平均101%にまで回復した。60 mmHgでは6例中5例が80%以下であり、平均70%までの回復にとどまった。さらに80 mmHgでは5例全例が60%以下であり、平均37%までしか回復しなかった(表5)。また N₁ latencyも40 mmHgでは全例延長を残さなかったのに対し、60 mmHgでは6例中2例が2 msecの延長を残し、80 mmHgでも全例延長し平均2.5 msecの延長を示した

($P < 0.05$) (表2)。以上の結果から圧迫開始圧40 mmHgでは圧迫解除2時間後には神経機能の障害を残さないが、60, 80 mmHgと高度になると神経機能の回復が悪いことが明らかになった。

次に圧迫中の N₁ amplitude 低下の許容限界について検討してみると、4回目の圧迫終了時 N₁ amplitudeが50%以上に保たれていた12例は圧迫解除2時間後平均101%であったのに対し、4回目の圧迫終了時50%以下まで低下した11例では圧迫解除2時間後平均55%までしか回復せず、両者の間に有意差を認められた($p < 0.01$) (表2)。このように圧迫中に N₁ amplitudeが50%以下まで低下すると圧迫解除後の神経機能の回復は有意に抑制されていた。

以上の結果から推定すると術後、神経機能障害を残さないための圧迫中の指標は、圧迫開始圧を40 mmHg以下にとどめ、N₁ amplitudeを正常時の50%以上に保つことであることが明らかになった。これは1時間の圧迫を用いた Bennettら⁷⁾の、障害を残さないための最大局所圧迫圧は30-40 mmHgであり、N₁ amplitudeが50%以下になると障害を残すという報告とほぼ一致している。

2) 皮質血流量

先述した如く圧迫中、圧迫解除後において CoBFの減少と N₁ amplitudeの低下は必ずしも一致した変化を示さなかった。また圧迫中の CoBFの最小値と圧迫解除2時間後の N₁ amplitudeについても、CoBFの減少が軽度であるのに N₁ amplitudeの低下が著明である例、逆に CoBFの減少が高度であるのに N₁ amplitudeの低下が軽度であるものかなりみられた(表1, 2)。さらに圧迫開始圧60, 80 mmHgにおける圧迫解除後の CoBFと N₁ amplitudeの回復との関係についてみると、CoBF, N₁ amplitudeともに回復しなかったものと、CoBFがほぼ圧迫前に回復したにも拘らず N₁ amplitudeは障害されたままであったもの(Dog 68, 71, 72)があった(表1, 2)。これらのうち後者は組織学的に皮質、白質の浮腫、小出血などの光顕的变化および midline structuresの偏位、回の扁平化、肉眼的出血、脳腫脹などの肉眼的変化(表4)を伴ったものであり、このような例では圧迫解除後循環障害がほぼ圧迫前に回復しても、圧迫中に生じた脳組織の機械的損傷に伴う神経機能障害は改善しにくいことが明らかになった。

このように圧迫中の CoBFの減少が圧迫中、圧迫後の神経機能障害の程度と必ずしも結びつかないことから、圧迫中の CoBFの測定は術後の神経機能を

予知するための有効な指標とは言えない。

3) 病理組織学的変化

圧迫解除2時間後皮質に浮腫と小出血が出現すると、神経機能が障害される傾向を示した(表4)。しかし圧迫中に皮質の浮腫、小出血の出現を適確に予測することは困難であることから、これらは術後に神経機能障害を残さないための術中の有効な指標とはなり得ない。

4) 小括

脳鏡による局所脳圧迫に起因する術後の神経機能障害を残さないためには、開頭術中に①圧迫開始圧を40mmHg以下にとどめる。

②N₁ amplitudeを50%以下に低下させない。

ことが重要な指標になることが明らかになった。なお術中のCoBFの測定では術後、圧迫局所の神経機能障害を残すかどうか予知することが困難であり、病理組織における皮質の浮腫と小出血の出現も術中に知ることが困難であるので、ともに術中の有効な指標とはなり得ないことが示唆された。

III. 非圧迫側への影響について

Monakow¹⁸⁾は臨床的に、大脳における限局した病巣から離れた部位に一過性の機能抑制がおこることを報告し、これをdiaschisisと呼んだ。またKempinsky¹⁹⁾は実験的にこの概念を支持し、電気凝固、中大脳動脈閉塞、冷却、皮質の吸引除去で局所に損傷を作成すると、非障害側においても一過性の脳波、Direct Cortical Responseの抑制が、損傷5-10分後に出現し、25分~1時間続くことを報告した。しかし今回著者の実験では圧迫側の著明なSEPの抑制にも拘らず、非圧迫側では著明な変化は示さなかった。

Numotoら²⁰⁾は頭蓋骨を閉塞した実験モデルでバルーン圧迫を行った際、圧迫部の脳波が消失した時には、非圧迫側対応部の脳波のamplitudeは50%に抑制されることを報告した。しかし今回著者が用いた右前頭側頭部で頭蓋骨および硬膜を開放し、脳を正中方向へのみ圧迫した実験モデルでは、圧迫開始圧80mmHgの1例で非圧迫側のN₁ amplitudeが64%に低下した以外には、いずれの圧迫開始圧でも著明な変化を示さなかった。このことは開頭術中の脳鏡による局所脳圧迫は圧迫側大脳半球で代償され、非圧迫側の神経機能障害をおこすに到らないことを示唆していると思われる。またCoBF、病理組織はともに圧迫中、圧迫解除後を通じて、非圧迫側では著明な変化を示さなかった。このことから開頭術中の脳

鏡圧迫では非圧迫側への影響は考慮に入れなくても良いと思われる。

IV. 臨床応用について

実際の脳神経外科手術において、脳鏡による局所脳圧迫圧を測定したのはAlbinら⁸⁾だけである。彼らは脳動脈瘤、脳腫瘍で前頭あるいは側頭頭頂開頭を行った5例について25mmHgをこえるBRPが30分以上続くことがしばしばあったと報告している。今回著者は実験的に圧迫開始圧が40mmHgまであれば、圧迫中のCoBFの減少、N₁ amplitudeの低下およびN₁ latencyの延長があっても術後、神経機能障害を残さないという結果を得た。しかしこれから直ちにAlbinら⁸⁾の観察したBRP 25mmHgでは神経機能障害を残さないと言い切れない。その1つの理由は、著者の40mmHgは圧迫開始圧であり、これは圧迫中の圧減衰のため30分の圧迫終了時には10-25mmHgに低下する(図1-B)のに対し、Albinらの25mmHgが圧迫中のどの時点の圧を示しているのか不明であることである。さらに大きな理由はAlbinらは人脳を、著者は犬脳を対象としていることである。また脳鏡の幅、辺縁のシャープさ、圧迫面積の多寡などが不明であり、比較するのは困難と思われる。

著者の得た圧迫開始圧40mmHgはあくまでも健常脳におけるものであり、実際の開頭術では外傷、腫瘍、クモ膜下出血などで既に脳浮腫のため神経構築、脳循環代謝に異常をきたした病的脳を圧迫する場合がほとんどであり、そのような時には術後の神経機能障害の程度もおのずと変わってくると思われる。浮腫脳では圧迫によりtraumatizationを受け易くなっており³⁾、より低い圧迫圧で神経機能障害を残すことが予想される。このように各症例により浮腫の程度に差があるため、許容圧迫開始圧40mmHgは絶対的なものではなく、浮腫の程度が高度になると低下してくる可能性を有している。

これまで脳鏡の使用は経験に頼ってきたが、誘発電位²¹⁾²²⁾²³⁾²⁴⁾を用いれば客観的な指標により術後の神経機能障害を予防することが可能であろう。特に運動、知覚、言語中枢、角回あるいは脳幹に隣接した部位を圧迫する場合には、局所脳圧測定とともに誘発電位を経時的に観察することが望まれる。

結 論

雑種成犬25頭に脳鏡による間歇的局所脳圧迫を行い圧迫中、圧迫後のCoBF、SEPおよび圧迫後の病理組織学的変化を観察することにより術後に神経機

能障害を残さないための術中の指標について検討し、次の結果を得た。

- 1) 圧迫回数の増加とともに神経機能障害、循環障害が進行した。
- 2) 圧迫解除後の神経機能の回復が悪かった例では、
 - ① 圧迫中、圧迫開始圧が40mmHgをこえていた。
 - ② 圧迫中、 N_1 amplitude が50%以下まで低下していた。
 - ③ 組織学的に少くとも皮質の浮腫、小出血を有していた。
 - ④ 圧迫中の CoBF の減少程度からだけでは圧迫解除後の神経機能障害を予知することは困難であった。

これらのうちで圧迫中に圧迫開始圧を40mmHg以下

に保つこと、 N_1 amplitude を50%以上に保つことが、術後の神経機能障害を防止する指標となりうるであろうと考えられた。

- 3) 非圧迫側では圧迫中、圧迫後を通じて CoBF, SEP, 病理組織は著明な変化を示さなかった。

稿を終るにあたり御懇篤なる御指導と御高閣を賜った恩師、岡山大学脳神経外科教授西本詮先生ならびに本研究に終始多大な御指導を頂いた長尾省吾先生に深謝致します。

本論文の要旨は第7回日本脳波筋電図学会総会(1977, 仙台), 第8回中国・四国脳神経外傷研究会(1977, 徳島)において発表した。

参 考 文 献

1. 植木幸明: 脳神経外科手術総論. 脳の扱い方, 現代外科学大系, 26-A, 木本誠二監修, 中山書店, 東京, pp. 387-388, 1969.
2. 西本 詮: 脳浮腫の研究. 脳と神経, 14, 363-366, 1962.
3. 相羽 正: 脳動脈瘤(直達)手術における副損傷. 臨床外科, 30, 825-835, 1975.
4. Aserman, D.: Controlled hypotension in neurosurgery with hexamethonium and procaine amide. *Br. Med. J.*, 1, 961-964, 1953.
5. Drake, C.G.: Further experience with surgical treatment of aneurysms of the basilar artery. *J. Neurosurg.*, 29, 372-392, 1968.
6. Hamby, W.B.: Intracranial surgery for aneurysms. In *Progress in Neurological Surgery*. ed. H. Krausenbühl, P.E. Maspes, W.H. Sweet, Karger, Basel and Year Book, Chicago, Vol. 3, pp. 1-65, 1965.
7. Bennett, M.H., Albin, M.S., Bunegin, L., Dujovny, M., Hellstrom, H., Jannetta, P.J.: Evoked potential changes during brain retraction in dogs. *Stroke*, 8, 487-492, 1977.
8. Albin, M.S., Bunegin, S., Dujovny, M., Bennett, M.H., Jannetta, P.J., Wisotzkey, H.M.: Brain retraction pressure during intracranial procedures. *Surg. Forum*, 26, 499-500, 1975.
9. Bartley, S.H., Newman, E.B.: Studies on the dog's cortex. I. The sensori-motor areas. *Am. J. Physiol.*, 99, 1-8, 1931.
10. Hamuy, T.P., Bromiley, R.B., Woolsey, C.N.: Somatic afferent areas I and II of the dog's cerebral cortex. *Am. J. Physiol.*, 163, 719-720, 1950.
11. Woolsey, C.N.: "Second" somatic receiving areas in the cerebral cortex of cat, dog and monkey. *Fed. Proc.*, 2, 55-56, 1943.
12. Lim, R.K.S., Liu, C., Moffitt, R.L.: *A stereotaxic Atlas of Dog's Brain*. ed. C.C. Thomas, Springfield, Illinois, 1960.
13. Chang, H.T.: The evoked potentials. In *Handbook of Physiology. Section I. Neurophysiology*. ed. J. Field, H.W. Magoun, V.E. Hall, American Physiological Society, Washington, D.C., pp. 299-313, 1960.
14. 加藤元博: 臨床神経学と大脳誘発電位(I). 臨床脳波, 19, 442-448, 1974.
15. Miller, J.D.: Volume and pressure in the craniospinal axis. *Clin. Neurosurg.*, 22, 76-105, 1975.
16. Nakatani, S., Ommaya, A.K.: Volume pressure curves and pial vascular pressure gradients in the rhesus monkey. In *Intracranial Pressure II*, ed. N. Lundberg, N. Ponten, M. Brock, Springer-Verlag,

- Berlin-Heidelberg-New York, pp. 89-96, 1975.
17. 青柳訓夫, 益沢秀明, 三井香児, 間中信也, 佐野圭司, 紀平正知, 小林繁夫: 脳コンプライアンスの測定とその意義. 第36回日本脳神経外科学会総会抄録, 53, 1977.
 18. Von Monakow, C.: Die Lokalisation im Grosshirn und der Abbau der Funktion durch kortikale Herde, Weisbaden, J.F. Bergmann, 1914.
 19. Kempinsky, W.H.: Experimental study of distant effects of acute focal brain injury. A study of diaschisis. *Arch. Neurol. Psychiat.*, 79, 376-389, 1958.
 20. Numoto, M., Donaghy, P.: Effects of local pressure on cortical electrical activity and cortical vessels in the dog. *J. Neurosurg.*, 33, 381-387, 1970.
 21. Kooi, K.A., Bachi, B.K.: Visual evoked response in man. Normal data. *Ann. N.Y. Acad.*, 112, 254-269, 1964.
 22. Gastaut, H., Regis, H., Lyagoubi, S., Mano, T., Simon, L.: Comparison of the potentials recorded from the occipital, temporal and central regions of the human scalp, evoked by visual, auditory and somatosensory stimuli. *EEG Clin. Neurophysiol.*, 26, 19-28, 1967.
 23. Greenberg, R.P., Mayer, D.J., Becker, D.P., Miller, J.D.: Evaluation of brain function in severe human head trauma with multimodality evoked potentials. Part 1.: Evoked brain-injury potentials, methods, and analysis. *J. Neurosurg.*, 47, 150-162, 1977.
 24. Greenberg, R.P., Becker, D.P., Miller, D., Mayer, D.J.: Evaluation of brain function in severe human head trauma with multimodality evoked potentials. Part 2.: Localization of brain dysfunction and correlation with posttraumatic neurological conditions. *J. Neurosurg.*, 47, 163-177, 1977.

**A study of electrophysiological changes following local brain
compression with a brain spatula**

II. Predictive indicators of postoperative neuronal dysfunction

Syunichiro FUJIMOTO

Department of Neurological Surgery, Okayama University Medical School, Okayama

(Director : Professor Akira Nishimoto)

To evaluate the effect of brain retraction during neurosurgical procedures, changes of N_1 components of somatosensory evoked potential (SEP), cortical blood flow (CoBF) by a hydrogen clearance method and histology were studied following local brain compression with a brain spatula in 25 mongrel dogs. Local compression pressure (LCP) at 20 mmHg for 30 minutes was applied four times with five minute intermissions during which time the pressure was completely released. In the same way, the procedures were done at varying levels of LCP, namely 40, 60 and 80 mmHg respectively. Results were as follows:

- 1) The more the numbers of repetitive compression increased at each pressure level or the more LCP was raised, the more both N_1 amplitude and CoBF decreased.
- 2) When LCP was more than 40 mmHg and/or N_1 amplitude decreased by more than 50 % during brain compression, SEP did not recover for two hours after compression was ceased. In addition, histological study demonstrated cortical microhemorrhage and edema. It is likely that LCP over 40 mmHg and reduction of N_1 amplitude by more than 50 % during brain retraction produces postoperative neuronal dysfunction.
- 3) In the noncompressed hemisphere, N_1 amplitude, CoBF and histology were not changed to any significant degree.