

頭蓋外動脈閉塞時および急性頭蓋内圧亢進時における 頸部諸動脈血行動態の実験的研究

京都大学医学部脳神経外科学教室 (指導: 半田 肇教授)

羽 白 洗

〔原稿受付: 昭和41年1月10日〕

Experimental Study on Cervical Arterial Blood Flow in Extracranial Arterial Occlusion and in Intracranial Hypertension

by

AKIRA HAJIRO

From the Department of Neurosurgery, Kyoto University Medical School
(Director: Prof. Dr. HAJIME HANDA)

Recent recognition of the extracranial arterial occlusion due to arteriosclerotic thrombosis as a cause of the ischemic cerebral vascular disorder has inspired many investigations concerning hemodynamics of extracranial arterial system. While various methods have been employed to measure cervical arterial blood flow, the author will report experimental and clinical applications of the electromagnetic flow meter.

The effect of occluding one or more of the cervical arteries upon flow rate in unoccluded vessels was observed in dogs by measuring carotid and vertebral flow with the electromagnetic flow meter. Critical appraisal of the postulation that cephalic circulation can be represented by the carotid flow in case of acute increase in intracranial pressure was intended by measurement of the flow rate in the common carotid artery which supplies the blood, although partly, to the brain. With the advantage of the electromagnetic flow meter which is capable of transmitting the direction and rate of blood flow without injuring vessels, its clinical application during the carotid ligation was also attempted.

The sine-wave electromagnetic flow meter (Fig. 1, 2) records the volume of blood flow through vessels without cannulation. This instrument possesses the following properties; the relation between rate of flow and instrument reading is linear; its sensitivity is independent of physical factors; instantaneous reaction to velocity and direction of blood flow is obtained.

Calibration of probes (Fig. 3, 4) were carried out *in vitro* with the excised carotid and vertebral arteries of dog, perfused with blood and saline. The probe is accurate with less than 5 percent experimental error (Fig. 5, 6).

The main problem with this flow meter is that the level of zero is not achieved without clamping the artery nor perfectly stable, and therefore accurate placement and

immobilization of the probe are required for reproducible results.

The following observations were made ;

(1) Blood flow in the common carotid artery (24 dogs) and vertebral artery (7 dogs) was measured by means of the electromagnetic flow meter. The average resting flow rate of these vessels were 90.9 cc/min. (S. D. : ± 38.0 cc/min.) and 21.0 cc/min. (S. D. : ± 4.8 cc/min.) respectively.

Table 2 summarizes the change in rate of blood flow in the carotid and vertebrals in case of acute occlusion of one or more cervical arteries. Occluding the internal carotid artery caused a decrease in the ipsilateral common carotid flow ($25\% \pm 5.9\%$), but slight (3%) increase in the opposite carotid flow (Fig. 7 A). Clamping the external carotid artery resulted in an immediate decrease in the ipsilateral carotid blood flow, which averaged $76\% \pm 11.4\%$ less than the resting value (Fig. 7 B).

When one common carotid artery was occluded, an immediate increase ($50\% \pm 27.6\%$) occurred in the contralateral carotid artery. Simultaneously ipsi- and contralateral vertebral blood flow showed increase of 78 % and 61 % respectively. Usually in these cases an increase in systemic blood pressure of 5 to 10 percent developed.

Effect of clamping of the vertebral artery : This resulted in an immediate increase in flow in the opposite vertebral ($70\% \pm 17.4\%$) and ipsilateral carotid ($33\% \pm 31.4\%$) artery and slight change in contralateral carotid artery. When both carotids and one vertebral artery were occluded the flow rate increased by 225 % in opposite vertebral artery. Significant increase (20~30%) in systemic blood pressure occurred. By clamping both vertebrals an increase of 42% in carotid flow was recorded.

Above all, in dogs, as more of the vessels contributing to the cerebral blood supply are occluded, an immediate increase in flow occurred in the remaining patent vessels. The rate of increase in vertebral flow by uni- or bilateral clamping of the carotid system was greater than that of the opposite condition.

The flow measurement of each cervical artery in acute occlusion revealed the maintenance of effective blood flow, indicative of the compensatory mechanism. This finding is considered to be based on the presence of the extensive anastomoses between intracranial and extracranial arteries, such as occipito-vertebral, maxillo-carotid anastomotic, middle meningeal anastomotic, internal and external ophthalmic anastomotic, internal and external ethmoidal anastomotic, and also anastomosis between basilar and spinal arteries (Fig. 16). The flow changes in acute occlusion of cervical arteries are considered to be due to the pressure difference which develops in the cerebral vascular bed.

With the occlusion of the proximal portion of the subclavian artery, the ipsilateral vertebral blood flow decreased by 291% (S. D. : $\pm 54.2\%$), indicating the reversal of the vertebral flow (Fig. 9, 10, 11). This reversal was also confirmed arteriographically (Fig. 12, 13, 14, 15). The acute and chronic experimental "subclavian steal" in dog does not show any sign or symptoms of basilar insufficiency, presumably owing to highly developed collateral pathways in cephalic circulation.

(2) In two patients with intracranial internal carotid aneurysm, the flow in internal carotid artery was studied while bifurcations were being exposed during carotid ligation. The acute occlusion of the common carotid artery diminished flow in ipsilateral internal

carotid artery by 57~78 % and pressure by 46~69 % (Fig. 17). No retrograde flow in internal carotid artery was observed at the time of common carotid ligation.

(3) Pressure-flow relationship in the common carotid artery was observed in dogs in both hyper- and hypotensive states induced by the administration of epinephrine and hexamethonium bromide and in the state of hypovolemia (Table 4).

(4) In acute elevation of intracranial pressure induced by extradural supratentorial brain compression, the change in flow rate in the ipsilateral common carotid artery was insignificant when the cisternal cerebrospinal fluid pressure was less than 400 mm of water. In the group with the cisternal pressure maintained above 400 mm of water, the systemic mean arterial blood pressure increased by 27.3 %, and the mean common carotid blood flow diminished by 24.0% (Table 5, Fig. 19, 20, 21).

Although systemic reactions which follow acute brain compression complicate the evaluation of the results, it is suggested that the measurement of the common carotid blood flow is a useful indicator of the inflow side of cephalic circulation in dogs.

緒 言

動脈硬化、アテローム等による、頭蓋外動脈閉塞が、脳血管性障害ことに乏血性脳病変の原因となることが、近年明かとなり¹⁾、頭蓋外血管なかでも頸部血管系の動的病的病態が重要性をもつと考えられる。頸部動脈の血流動態を知る試みは、従来からおこなわれているが血管自体への損傷がなく、数量的に、血流量を求めることのできる、電磁流量計によつて、実験動物として犬を用い、頸部血管の閉塞をおこなつて、頸動脈および椎骨動脈の血流量を測定し、脳血流の流入側の血行動態を明かにしようとした。

犬にあつては、頭蓋内外の吻合動脈が、正常に存在するなど、形態学的に人体と異なることが知られているが、脳の循環動態を、頸部動脈の血行動態から推測することの可否を、急性頭蓋内圧亢進時におけるその態度から検討を加えようと考えた。

電磁流量計の得失を、その使用面から検討し、更に頸動脈結紮術の場合、術中すみやかに血流量を知り、結紮によるその変動をも知ることにより、従来おこなわれた、内圧測定とともに、臨床的に応用を試みた。

第 I 章 電磁流量計

1. 原 理

電磁流量計は Kolin²⁾、Wetterer⁵⁾等によつて考案された流量計であるが、その原理は、磁場内を直角に導体が運動するとき、誘導起電力が生ずる Faraday の法則が、電導度を有する流体が磁場内を流れる場合にも適用できる点にある。このとき誘導起電力は磁場、導

体の長さ、流体の速度に比例する。人体および実験動物において、血管壁は導体であるから、血管の外周上の電極において、起電力は両電極間の電位差として検出される。この電位差は次式によつてあらわされる²⁾。

$$V = 10^{-8} 2RBv$$

V : 電位差 (volt), R : 血管半径 (cm), B : 磁束密度 (gauss), v : 流体の瞬間平均流速 (cm/sec).

通常この電位差は microvolt の単位であり、増巾の必要がある。直流式電磁流量計を用いる場合、分極による電位差が、流体によつて生ずる電位差に重畳し、又心電図等の生体電位の影響があるため限界がある。このため、Kolin²⁾、Denison-Spencer⁶⁾等によつて交流を用いて磁化し、交流増巾を用いる方式が開発された。

本研究に使用した流量計は Medicon 社製 gated sine-wave flowmeter である (第 1 図)。その block diagram を示すと第 2 図の如くである。

この場合誘導起電力は

$$V = [2RB (v \sin t + k \cos t)] 10^{-8} \text{ volts}$$

で示され、正弦函数の component は流量によつて、余弦函数の component は transformer によつて変化する。この 2 つの component の位相差があるところから、流量による signal のみを増巾する方法として、磁化側周波数と同調せしめた gate amplifier は、各周期に 1 回 signal を sample する。この gating interval の中点は transformer により生ずる電位の変化率の最大点に一致することにより、transformer の影響を除去する。

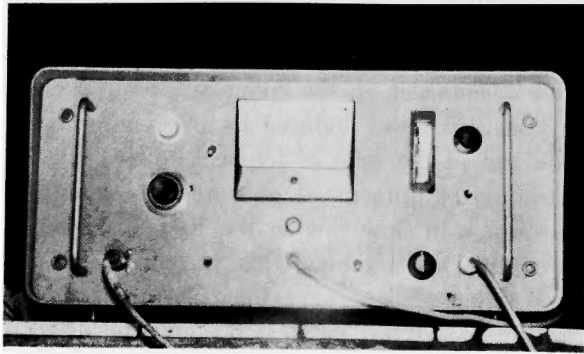


Fig. 1 Sine-wave electromagnetic flowmeter (Microflo, FM-6R).

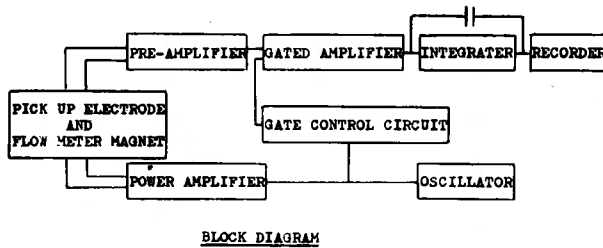


Fig. 2 Block diagram of instrument.

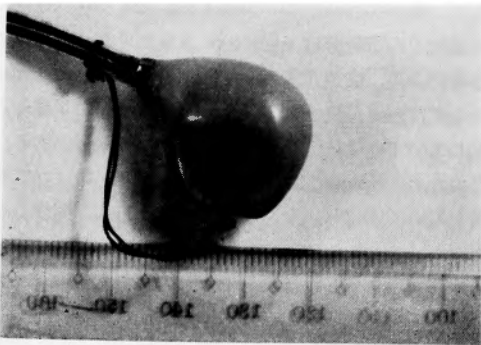


Fig. 3 3 mm electromagnetic Flo-probe (Model CI).

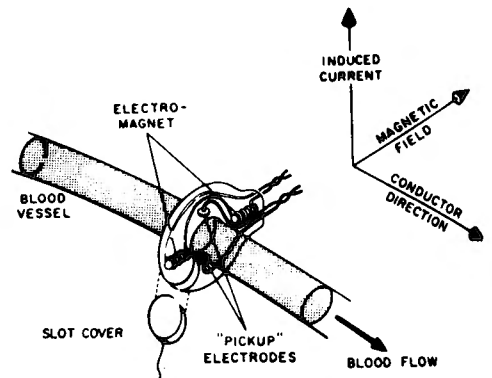


Fig. 4 Scheme of electromagnetic Flo-probe³⁸⁾. Signal current is induced as the conductor (blood flow) cuts the lines of magnetic force.

尚欠陥として、実際には transformer による影響を完全に除外できないこと、磁場の強さが完全に安定しない場合、基線の動揺を来す点などがある。

2. Flo-probe

Methyl-methacrylate 製の casing 内に電磁石および電極 (pick-up electrode) を包埋し、彎曲に一致した、slot-cover が附属する (第3図、第4図³⁸⁾)。実験に使用したものは、Medicon 社製、CI 型内径3.0mm, 8.0mm である。使用前30分間、生理的食塩水内に浸潤し、無

菌操作は1000倍逆性石けん生食水に24時間浸潤せしめることによつておこなつた。

実験に使用する犬の頸部血管の直径と、probe の内径は前者が後者と 同大か、或は、大である必要があり、probe による10~20%の血管の狭窄が最も適當である。又50%以内の狭窄では平均血流量に関しては有

意の差を認めなかつた。

3. 校正法

流量の絶対値を求めるために、個々の probe について校正をおこなうが、その方法は次の如くである。

成犬の総頸動脈、椎骨動脈、胸部大動脈を 5 cm にわたつて切除し、流量既知の Minipump (トノクラ製) と接続、probe を切除血管に装着し、生理的食塩水および抗凝固剤添加犬全血を灌流する。あるいは水面の低下を十分無視しうる reservoir から重力差によつて、一定流量を灌流する方法をも用いた。このとき、切除血管をあらかじめ接地する。流量を変化せしめて校正をおこない、既知流量と流量計の読みから回帰直線グラフを作成する (第 5 図)。Probe を適切に使用すれば、校正直線は直線性を示し、食塩水濃度 0.01~1.0%、温度によつて校正直線は影響されないことが知られた。又生理的食塩水と犬全血の間にも校正に差異を認めない。従つて実験にはすべて、生理的食塩水による校正をおこなつた。Tetrick ら⁵³⁾によるとヘマトクリット値の変化が 30~50 の間では校正直線に関しては、無視しうるとしている。又生理的範囲内の電解質、血清蛋白の変動も同様に無視できる。又本流量計の原理から理解されるが、温度・気圧・流体の粘稠度等は校正直線に関係しない。流量計の読みを、ペン書きオシログラフに記録することにより、流量を積分値として知ることができる (第 6 図)。

Probe の校正は、理想的には実験後、被測定血管ごとにおこなうべきであるが CI 型 3.0 mm の probe については、実験期間中、校正直線の修正を必要としなかつた。Kolin²⁸⁾によると動脈壁の外周が変化しないかぎり、その厚さは感度に影響を与えない。本校正法による測定誤差は 5% である。

4. 操作法

本流量計操作時、注意すべき点は被測定血管より小さい probe を使用し、probe の内径に緊密に血管の外周が接触するようつとめる。このため前述の如く、生理的食塩水に probe をあらかじめ浸潤せしめる。血管への粗暴な操作は、血管壁の平滑筋攣縮をきたし、測定にあつて誤差を生ずる原因となる。又 probe のために血管が屈曲したり、極度に狭窄、ねずれを生じないように留意する。0 点決定には、ヘアピンあるいはブルドッグ 鉗子を用いて probe の遠位側血管を閉塞し、いわゆる mechanical zero とする。いつたんこれを定めた後は、probe の固定を十分おこない動かさないようにする。probe の位置は血管に対して直角をな

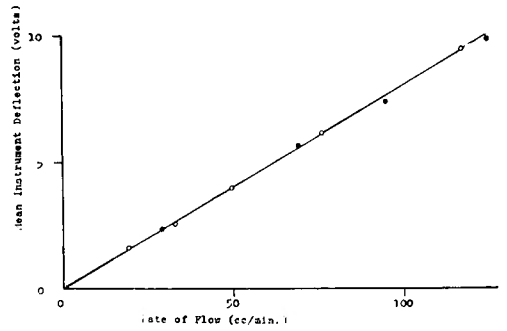


Fig. 5 Calibration of 3 mm probe. (Gain : 5.00, Magnetic Field : 45) Black and white dots indicate readings obtained using dog's blood and saline respectively.

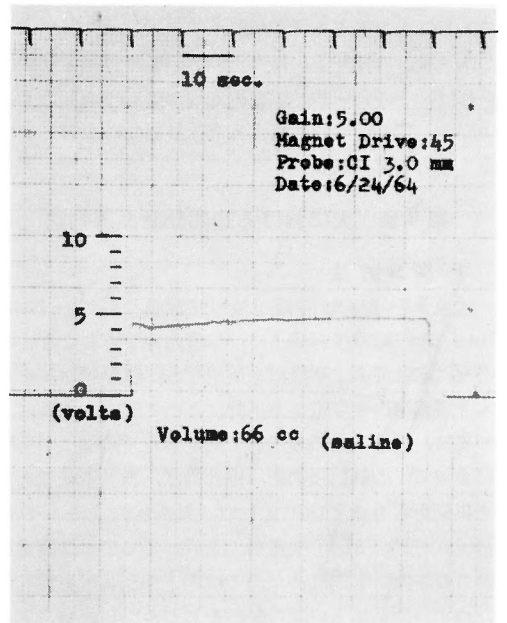


Fig 6 An example of calibraion using a recorder.

していなければならない。実験中、必要に応じて mechanical zero を確認し、0 点を調整する。手術野からのみ、単一の接地をおこない、実験動物は絶縁されていることが望ましい。

5. 本流量計の得失

実験的に電磁流量計を使用し、その利点を考察すると、

- 1) 流量と流量計の読みが直線関係にあること、
- 2) 温度、粘稠度、層流乱流など流形の種類等物理的諸条件に感度が無関係であること、

- 3) 流量の変化に対して瞬時的に反応すること、
- 4) 較正が比較的容易であること、
- 5) 血管に対して直接侵襲を加えることなく測定ができること、
- 6) 抗凝固剤の投与を必要としないこと、
- 7) 0点決定に長時間の血管閉塞を必要としないこと、などである。

反面欠陥として、0点決定が、血管の一時的閉塞以外に不可能であり、しかも完全に安定しない。また較正直線を得ても、個々の生体において血管壁の状態が異なり、ヘマトクリットなどの生理的条件によつて若干の誤差は避けられないこと、probeの形状から血管の露出が一定限度（およそ3cm）以上ないと使用できないこと、小型のprobeでは安定性、再現性とも不良であることなどがあげられる。

本流量計の操作上、特性上の欠陥を十分考慮して用いれば、その臨床的、実験的応用は可能であり、その欠陥としてあげられる諸点も今後技術的に改善進歩するものと考えられる。

第II章 犬における頸部動脈血流動態

1. 実験方法

体重8.5~13.0kgの雌雄雑種健全成犬を用い、Nembutal 25mg/kg静脈麻酔下に、気管内挿管をおこない、必要に応じて人工呼吸器を使用した。股動脈血圧を日本光電製MP-1型電気血圧計によつて測定、実験によつては、鎖骨下動脈内圧をも測定した。頸部正中切開によつて、両側総頸動脈、椎骨動脈、鎖骨下動脈を周囲組織から遊離、露出せしめ、結紮操作あるいは、Medicon社製FM-6R型電磁流量計によつて血流測定をおこなつた。露出にあつては迷走神経刺激を避けるため十分頸動脈との間の剝離をおこない、必要に応じて頸動脈洞のdenervationをおこなう。使用probeはMedicon社製CI型1.0mm, 3.0mm, 8.0mmのものである。血圧および流量は日本光電製RM-150型直記式オシログラフにより連続記録をおこなつた。

2. 頸部動脈急性閉塞時の頸動脈および椎骨動脈の血流変化

(1) 正常血流量

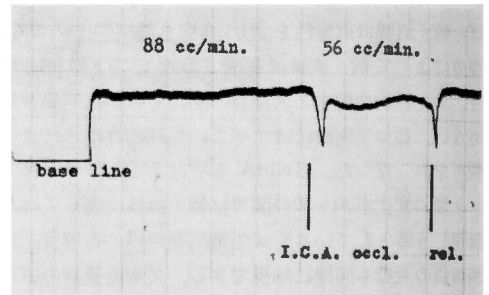
体重8.5~13.0kgの成犬24頭を用いて、総頸動脈血流量を測定した。麻酔その他による著しい高血圧、低血圧例を除外した。平均血流量は90.9cc/分（標準偏差：±38.0cc/分）であつた。又この体重範囲の成犬において、血流量と体重との間に相関関係は認められな

い。

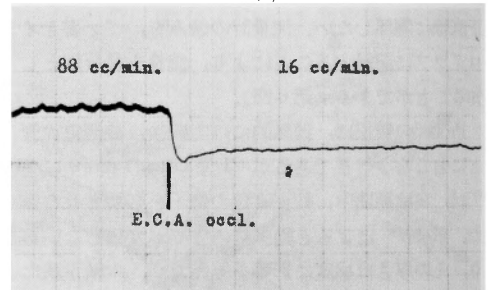
椎骨動脈血流量は体重8.0~1.10kgの成犬7頭を用いて計測したところ、平均血流量は21.0cc/分（標準偏差：±4.8cc/分）であり、左右差は一定の関係は認められない。従つて犬では、総頸動脈血流量は椎骨動脈血流量の3~5倍にあたる。

(2) 一側内頸動脈閉塞

内頸動脈閉塞によつて、同側総頸動脈血流量はただちに平均25.0%（標準偏差：±5.9%）減少する（第7図A）。これに反し、反対側総頸動脈血流量は3.0%の増加を示すにすぎない。なおこのとき全身血圧の変化は認められない。



(A)



(B)

Fig. 7 Effect on common carotid blood flow following internal (A) and external (B) carotid occlusion.

(3) 一側外頸動脈閉塞

同側総頸動脈血流はただちに、平均76.0%（標準偏差：±11.4%）減少する（第7図B）。反対側総頸動脈血流量は平均15%増加を示す。

総頸動脈血流は、その1/4が内頸動脈に、3/4が外頸動脈に流入するといえる。これは犬において、外頸動脈が強大で、これに比し内頸動脈は細小であることと一致する。

(4) 一側総頸動脈閉塞

反対側総頸動脈血流量は、ただちに正常値より平均

50% (標準偏差: ±27.6%) の増加を示す。同時に同側および反対側椎骨動脈血流量はそれぞれ平均78% (標準偏差: ±39.4%), 平均61% (標準偏差: ±38.8%) の増加を示す。通常全身血圧は5~10% 亢進する。

(5) 一側椎骨動脈閉塞

椎骨動脈を椎間孔に入る部分で閉塞すると、同側総頸動脈で平均33% (標準偏差: ±31.4%), 反対側総頸動脈で平均8% (標準偏差: ±7.3%) の流量増加をみる。反対側椎骨動脈では平均70% (標準偏差: ±17.4%) の増加を示す。さらに同側の総頸動脈結紮をくわえると、反対側総頸動脈血流量は50%の増加をきたし、総頸動脈単独閉塞と同様の結果であった。

また反対側総頸動脈閉塞をおこなうと、開存椎骨動脈血流は、平均88%増加を示す。

一側椎骨動脈および両側総頸動脈閉塞の場合、脳には椎骨動脈のみによつて血液が供給される状態であり、著明な全身血圧の上昇(20~30%)を認め、このとき開存椎骨動脈は平均225%の血流増加をきたす。

(6) 両側椎骨動脈閉塞

総頸動脈血流は平均42%増加し、さらに一側総頸動脈閉塞をくわえると、開存総頸動脈血流は平均54% (標準偏差: ±40.8%) 増加する。

3. 鎖骨下動脈近位側閉塞

鎖骨下動脈を、胸膜外に露出し、右側では総頸動脈と椎骨動脈の両起始部の中間、左側では椎骨動脈起始部より近位側の鎖骨下動脈を閉塞する(第16図)。

(1) 一側鎖骨下動脈単独閉塞の場合、反対側椎骨動脈血流は平均63% (標準偏差: ±48.4%) の流量増加をきたす(第8図)。同側椎骨動脈では平均291% (標準偏差: ±51.2%) の血流減少をきたす。すなわち血流方向は逆転する。この変化は瞬間的であり、全身血圧に変化をきたさない(第9図)。

(2) 一側鎖骨下動脈閉塞に反対側椎骨動脈閉塞をくわえた場合やはり平均400%の流量減少を見、血流方向の逆転が認められる。さらに同側総頸動脈閉塞をおこなつた場合、同側椎骨動脈血流の逆転(平均500%減少)を示す。一側鎖骨下動脈、反対側椎骨動脈および両側総頸動脈の閉塞を合併すると、同側椎骨動脈血流量は急激に減少し、0に近づくと逆転は示さない。この時全身血圧は亢進する(第10図)。

(3) 鎖骨下動脈近位側閉塞の場合、全例全身血圧に影響を与えなかつたが、鎖骨下動脈の閉塞部から遠位の平均血圧を測定すると、平均37% (標準偏差: ±

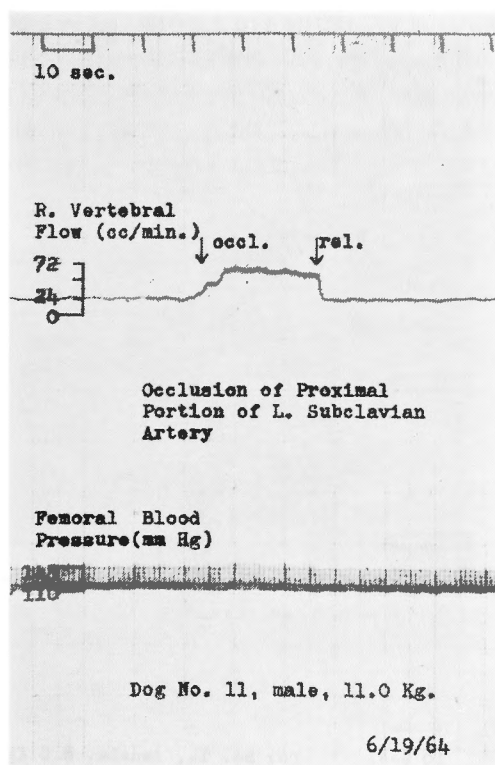


Fig. 8 Right vertebral flow change during occlusion of proximal portion of left subclavian artery.

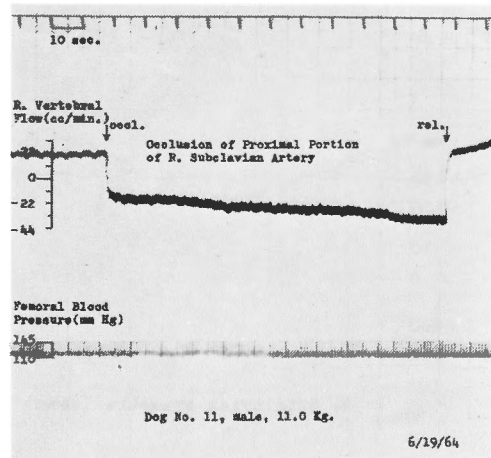


Fig. 9 Reversed vertebral flow observed after ipsilateral subclavian occlusion.

8.3%) 低下し (第11図A), 上述の様に同側椎骨動脈の血流方向は逆転する。鎖骨下動脈の血流方向は逆転する。鎖骨下動脈近位側に狭窄を徐々におこない、椎骨動脈血流量が0になる程度の部分閉塞例では、鎖骨下動脈平均血圧には、変化をきたさないことが知られた (第11図B)。

(4) 76% Urografin 5 ccを用いて、左椎骨動脈撮影を無処置犬と、右鎖骨下動脈結紮犬で、同一条件下におこなつたところ (第12, 13図), 前者では右側椎骨動脈はその走行の中央部より遠位側まで造影されるにすぎないが、後者では右側椎骨動脈の全長にわたり造影され、さらに内乳動脈、鎖骨下動脈遠位側、肋頸動

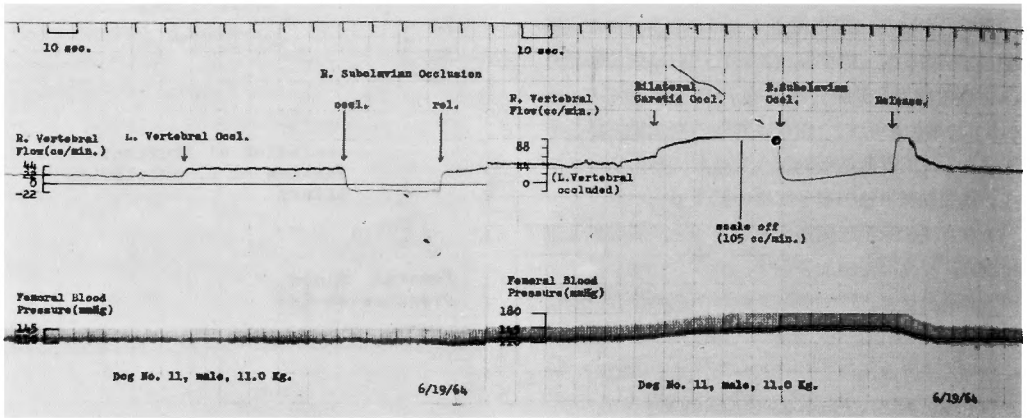


Fig. 10 Vertebral blood flow in various occlusion of cervical vessels.

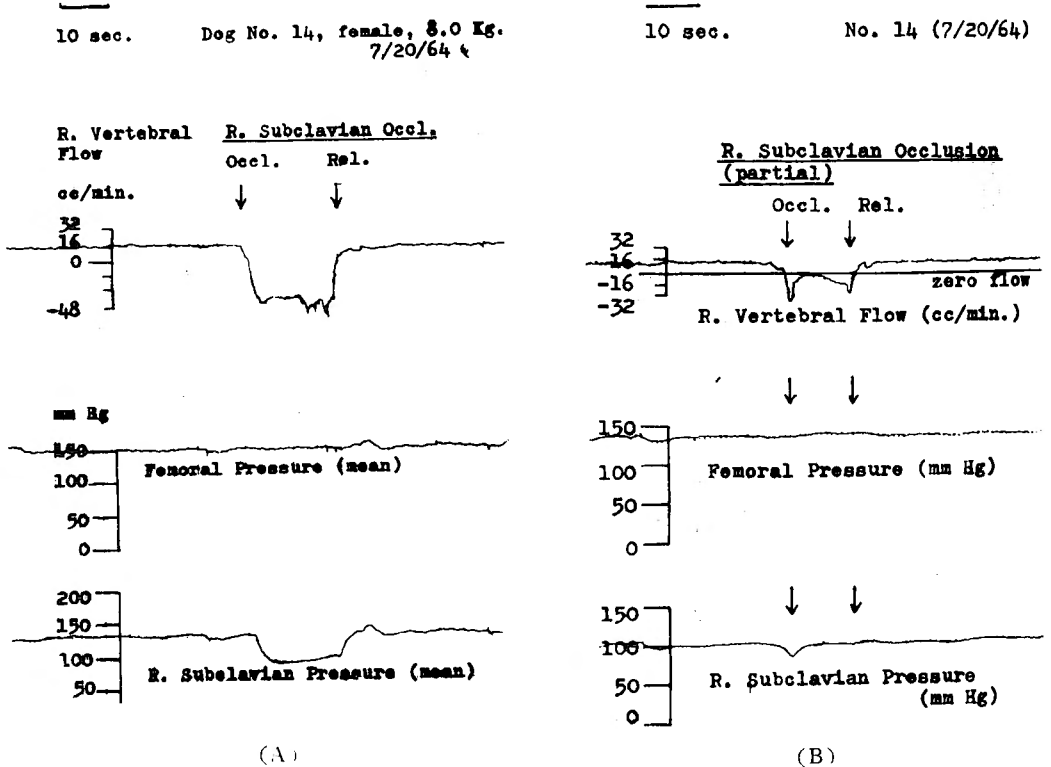


Fig. 11 Comparison of total (A) and partial (B) subclavian occlusion.

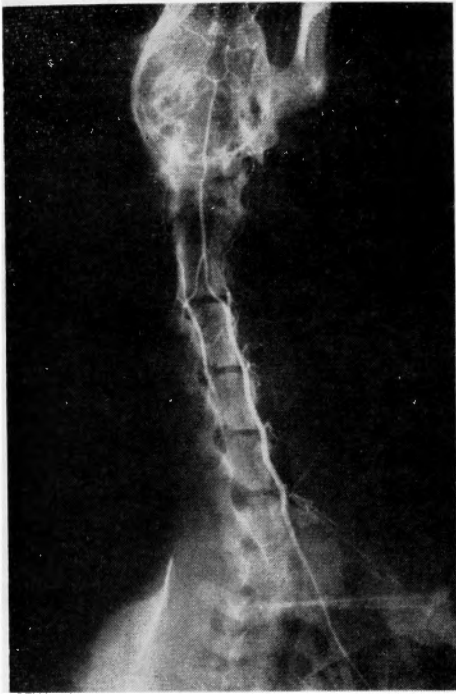


Fig. 12 Left vertebral angiogram in normal dog.

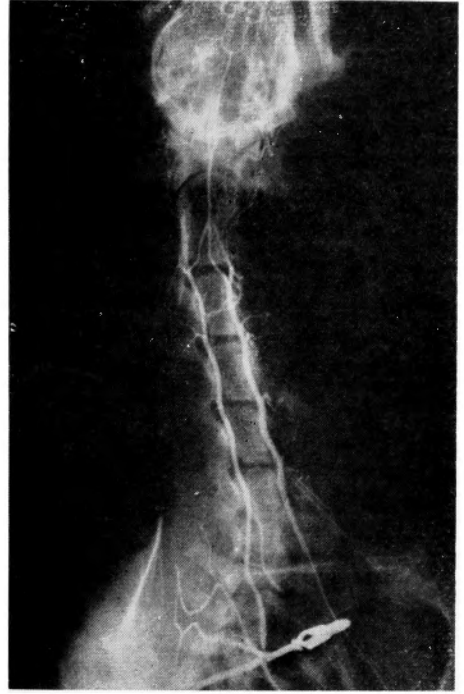


Fig. 13 Left vertebral angiogram in acute occlusion of right subclavian artery.



Fig. 14 Normal brachiocephalic angiogram.

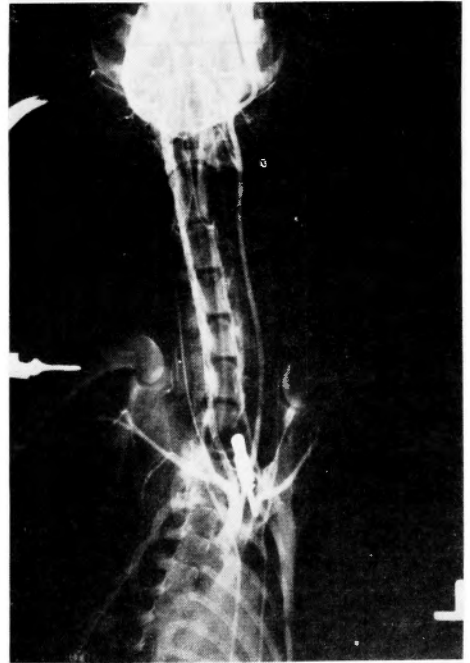


Fig. 15 Brachiocephalic angiogram in acute left subclavian occlusion, showing visualization of arteries distal to the occlusion.

脈, 肩頸動脈が造影される。

無処置犬と左鎖骨下動脈結紮犬において, 右肋頸動脈から Fr. No. 5 polyethylene catheter を腕頭動脈内に挿入, 76% Urografin 7ccを注入し, 頸部動脈撮影をおこなうと, 無処置犬においては両側総頸動脈, 右椎骨動脈が造影されるが(第14図), 結紮犬においては左椎骨動脈および左鎖骨下動脈は結紮部より遠位側でその分枝とともによく造影されている(第15図)。

以上の場合, 血管造影像から認められる血行路は, 主として, 椎骨動脈—椎骨動脈および外頸動脈—椎骨動脈を介するものである。

(5) 鎖骨下動脈急性閉塞をおこなったとき, Beckman 社製 Gas Analyzer を用いて, 脳幹組織内酸素分圧および Jarnum²⁵⁾, Bloor⁵⁾ らの述べるごとく, 髄液酸素分圧が脳組織酸素分圧と平衡する事実にもとづいて, 大槽内髄液酸素分圧を測定した1例では, 鎖骨下動脈結紮前後において, その酸素分圧に変化を認めなかつた。また, 更に頸部動脈結紮附加した場合, 全身血圧の変化に一致した変動を示すにとどまる(第1表)。脳波を control した例においてもその pattern に認めうる変化はなかつた。以上の2点において, 鎖骨下動脈結紮によつて, 急性脳循環不全は証しえない。

Table 1

Site of Occlusion	Cisternal C.S.F. Oxygen Tension (mmHg)	Mean Arterial Blood Pressure (mmHg)
none	55	123
r. subclavian a.	55	123
+ l. vertebral a.	56	123
+ r. carotid a.	80	132
+ l. carotid a.	92	163
bilat. carotid rel.	53	123
l. vertebral rel.	51	123
r. subclavian rel.	48	123

(6) 慢性実験

3頭の一側鎖骨下動脈結紮犬を作成, 手術時椎骨動脈の血流方向の逆転を確認したものを経過観察したが, 全身状態, 行動に異常なく神経学的所見を認めなかつた。1ヵ月後屠殺, 脳には肉眼的, 組織学的に梗塞, 軟化を認めなかつた。

4. 中大脳動脈閉塞

あらかじめ外頸動脈結紮をおこない, 総頸動脈において流量を測定すると, 中大脳動脈の穿通枝分枝部か

ら近位測閉塞では平均15%(0~33%), 遠位側閉塞では平均6%(0~15%)の同側総頸動脈血流量の減少をみた。

5. 考 察

Batson⁴⁾によると, 犬は脳血管と頭蓋外血管との間に多数の吻合動脈が存在し, このような奇網 Rete mirabile を有する動物においては, 脳血流量を動脈側から測定するのは不適當であるとしている。犬の頸部動脈を半図式的に示すと第16図の如くであり, 正常犬

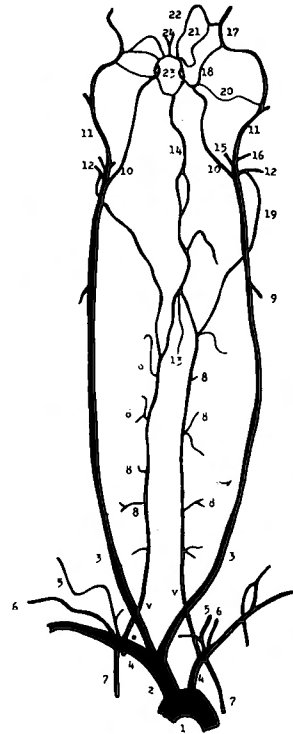


Fig. 16 Schematic demonstration of canine cervical arteries. 1: aortic arch, 2: brachiocephalic, 3: common carotid, 4: subclavian, 5: costocervical, 6: omocervical, 7: internal mammary, v: vertebral, 8: muscular branches, 9: superior thyroidal, 10: internal carotid, 11: external carotid, 12: occipital, 13: anterior spinal, 14: basilar, 15: ascending pharyngeal, 16: lingual, 17: internal maxillary, 18: maxillocarotid anastomotic, 19: occipito-vertebral, 20: middle meningeal anastomotic, 21: internal and external ophthalmic, 22: internal and external ethmoidal, 23: circle of Willis, 24: anterior cerebral. ** indicates the proximal portion of subclavian artery.

にあつてもすでに後頭椎骨動脈、頸頸吻合動脈、中脳膜吻合動脈、内外眼動脈間吻合、内外篩骨動脈間吻合および脳底動脈と脊髄動脈との間の吻合などが知られている。頸部動脈の個々の血流量測定のみでは、吻合のある点を考えても脳循環全体を把握することは困難である。

犬において、実験結果から明かなように、外頸動脈血流量に比し内頸動脈血流量は極めて少く、そのおよそ1/4を占めるにすぎない。又内頸動脈結紮による反対側総頸動脈の血流増加率も少い。椎骨動脈系にあつても、多数の筋枝と両側間の吻合があり、内頸動脈と椎骨動脈とのみで脳への血液供給を充足しているとは云えない。Bouckaert および Heymans⁶⁾によると、吻合動脈が人体における内頸動脈の役割をはたしているともいわれる。

急性閉塞実験の場合の総頸動脈および椎骨動脈血流の変化率を第2表に総括して示す。正常状態では左右総頸動脈間、椎骨動脈系と頸動脈系との間にそれぞれ死点が存在すると当然考えられるが、急性閉塞の場合、開存動脈血流量の増加する機転は、閉塞による末梢側の血圧低下によつて圧勾配が生じ、死点が移動するために他ならない。この血流状態の変化は閉塞直後に生ずるところから、末梢血管抵抗の急激な変化に由来するもので、閉塞解除時に、一過性にいわゆる over-

shoot が、閉塞血管血流に毎常認められることから理解される。これらの血流変化は頸動脈洞の denervation をおこなつても生ずるところから、Rein⁴⁾のいう cephalic reflex vasodilatation とは考えられない。血流量の増加率を比較検討すると、犬においては頸動脈系閉塞による椎骨動脈系の増加がその反対の場合より顕著である。これは、後頭椎骨動脈吻合および Willis 環後半部における、両系の吻合が重要な意義を有するためと考えられる。正常状態においては個々の動脈の支配領域は一定している³⁷⁾が、急性閉塞によりある動脈の血流が障害されると、残つた他の動脈は吻合路によつてその支配領域を拡大する。犬においては、頸部血管を3本迄閉塞しても、代償的に全身血圧の上昇をきたし、残つた開存動脈の血流量増加によつて、脳血流量全体は低下することなく維持されると理解される。犬では4動脈のすべてを閉塞しても約半数は半年間脳軟化巣を認めない事実¹⁸⁾からも、犬の頸部動脈間の代償機転の有効性が大であること、側副血行路がよく発達していることを示す。

尚本実験において2個以上の血管閉塞をおこなう場合、閉塞順位による差異は認められなかつた。

鎖骨下動脈近位側閉塞による椎骨動脈血流の逆転は臨牀的に subclavian steal syndrome と称せられるもので、その主要臨床所見は第3表の如くであるが Reivich

Table 2
Effect of Various Occlusions on Common Carotid Blood Flow

	Site of Occlusion									
	X		X			O			X	X
Common Carotid	X								X	X
External Carotid		X				O				
Internal Carotid			X				O			
Vertebral				X				O	X	O X
Average Increase (%)	50	15	3	8	-76	-25	33	50	5.1	42

Effect of Various Occlusions on Vertebral Blood Flow

	Site of Occlusion									
	O	X				O	O X		O X	O
Common Carotid	O	X				O	O X		O X	O
Vertebral			X			X	X	X	X	X
Proximal Subclavian				X				O	O	X
Average Increase (%)	78	61	70	63	88	225	-291	-400	-80	-500

O : ipsilateral, X : contralateral

ら⁴⁵⁾の報告以来多くの総説¹¹⁾⁴²⁾, 症例報告²⁾³⁾¹⁶⁾⁴⁰⁾⁴⁹⁾⁵⁹⁾があり, 実験的に¹⁹⁾⁴⁸⁾, 血管撮影において¹⁴⁾⁵¹⁾確認されており, その病態から brachial-basilar insufficiency syndrome と提唱するむきもある⁴¹⁾.

Table 3

Subclavian Steal Syndrome

(Occlusion of the proximal portion of the subclavian artery)

- 1) Basilar artery insufficiency (by exercise of the involved arm or in the upright position); transient loss of consciousness, dizziness, slurred speech, blurred vision, double vision, etc.
- 2) Localized bruit over the ipsilateral supraclavicular area.
- 3) Reduction of pulse and blood pressure in the involved side.
- 4) Angiographical demonstration of reverse flow down the vertebral artery.

犬においては, 急性および慢性実験ともに神経症状を呈しないし, 又脳酸素分圧測定によつても脳幹の乏血を認めない. 臨床的にも Blalock-Taussig 手術後の症例など必ずしも脳乏血症状を呈しない例もあり³⁴⁾, Massumi³⁶⁾は先天性の本症には神経症状を欠くとしている. 椎骨動脈撮影によつて本症候のときの主たる逆行血流は反対側椎骨動脈及びその筋枝が関係し, さらに頸動脈系も関係している. 血管撮影による椎骨動脈の逆行性血流の証明のみでは造影剤の物理的, 化学的 artifact を生ずる点から Marshallら³⁵⁾の主張するように血行力学的方法によつて血行動態を忠実に表現する方法をとる必要があり, その点実験的には電磁流量計を用いるのは有用である. いずれにせよ, 犬においては脳幹部の乏血症状をきたさないことから側副血行路による脳幹部の代償血行がよく保たれていることが確認され, 椎骨動脈逆流による乏血を阻止していると考えられる.

6. 臨床的応用

頸動脈結紮術施行時にCI型 8mm の probe を内頸動脈に装着して内頸動脈血流量を測定し, 結紮による血流量の変化を観察し, 同時に内頸動脈を #18 穿刺針で穿刺, 内頸動脈血圧を電気血圧計によつて測定した.

内頸動脈平均血流量は同側総頸動脈結紮によつて第1例では78% (第17図), 第2例では57%の減少を示し, 内頸動脈平均血圧はそれぞれ, 69%, 46%の低下

症例1 57才 女 臨床診断: 右内頸動脈瘤

	平均血流量 (cc/分) (減少率)		平均血圧 (mmHg) (減少率)	
術前	225	0	160	0
総頸動脈結紮	50	78%	50	69%
+外頸動脈結紮	50	78%	25	84%
外頸動脈結紮解除	50	78%	50	69%
総頸動脈結紮解除	225	0	160	0

症例2 65才 男 臨床診断: 左内頸動脈瘤

	平均血流量 (cc/分) (減少率)		平均血圧 (mmHg) (減少率)	
術前	300	0	125	0
総頸動脈結紮	130	57%	68	46%
+外頸動脈結紮	100	67%	64	49%
外頸動脈結紮解除	150	50%	68	46%
総頸動脈結紮解除*	200	33%	130 (+4%)	

* 血管縮を認めた.

をきたしている. 第2例では外頸動脈結紮を附加した場合67%の血流低下を認めている. 総頸動脈結紮による内頸動脈血流方向の逆転は2例とも認められず, 第1例は総頸動脈結紮, 第2例は内頸動脈結紮を行なつた.

臨床的に頸動脈血流量を電磁流量計によつて測定した報告例は, Hardesty²⁰⁾²¹⁾, Stern⁵²⁾, Tindall⁵⁵⁾などにみられるが, その絶対値は個人差がかなり存在する. Tindallによると内頸動脈血流量は, 60~420cc/分であるという. 総頸動脈結紮のとき, 内頸動脈血流の逆転が認められることが報告され⁵⁶⁾, 側副血行路の発達の良い否を推定できる.

電磁流量計は血管を露出するのみで, 血流量を数量的に知り得, さらに結紮時流量の相対的变化, 血流方向の瞬間的变化を認めうることから, 脳神経外科領域においては, 頸動脈結紮時に臨床的に応用が可能であり, 意義あるものと考えられる.

第三章 総頸動脈血流量と全身血圧との
相関関係

1. 実験

健常成犬を用い, Nembutal 麻酔下に, 降圧剤 Hexamethonium bromide (C₆) 10mgの静脈内投与, 5分後さらに5mgの追加静注をおこなつた低血圧犬(I), 合成昇圧剤 Hydroxyphenylmethylamino-ethanol chlo-

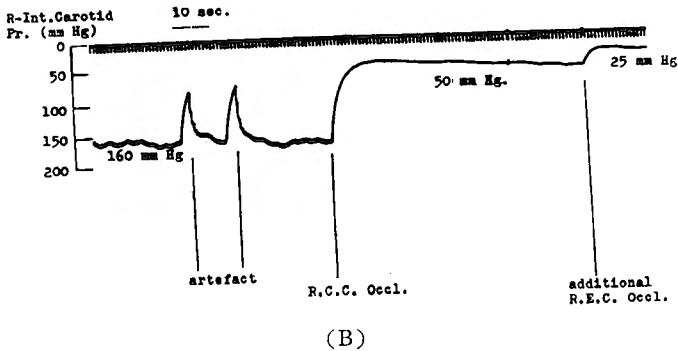
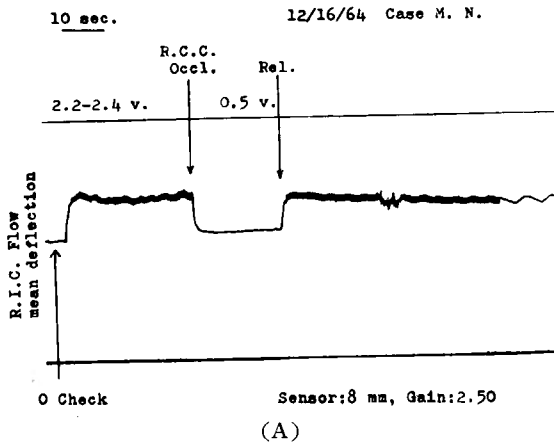


Fig. 17 Recording of right internal carotid mean flow (A) and mean pressure (B). R. C. C. and R. E. C. indicate right common and external carotid artery respectively.

ride (Neosynsin) 0.2mg 静脈内投与をおこなつた高血圧犬(Ⅱ), 急性脱血(0.8cc/分/kg)による乏血性低血圧犬(12kg)(Ⅲ)の3者について, 全身血圧, 頸動脈内血圧, 頸動脈血流について観察した。

その変化および変化率を示したものが第4表であるが, その変化率を比較するとC₆による低血圧犬では, 血圧低下とほぼ同程度の減少率で総頸動脈血流の減少をみるが, 乏血性低血圧犬では, 血圧が維持されている時点にもすでに総頸動脈血流量は52%の減少を示している。すなわち末梢血管抵抗(mmHg/cc/min.)を算出すると前者ではほぼ一定し, 後者では増加する。又昇圧剤投与の場合, 血圧-血流の關係は, 著明な血圧亢進に反して, 血流量は減少する。これはEpinephrine 0.1mg投与例(第18図)においても同様である。

2. 考 察

C₆ 投与によつて, 脳血流量は変化しない事実が,

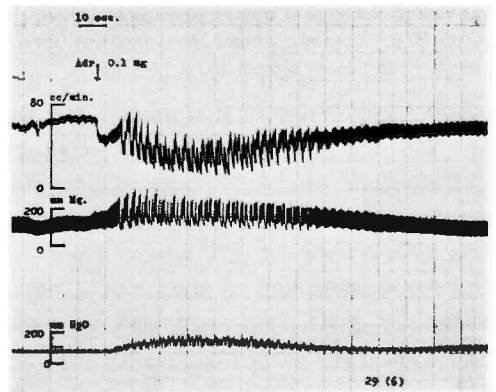


Fig. 18 Intravenous administration of epinephrine and its effect on common carotid blood flow (upper), systemic blood pressure (middle) and cisternal cerebrospinal fluid pressure (lower).

Table 4

1. Hexamethonium bromide

Time in minutes		0.5	1	1.5	2	3	4	6	10	15
C.C.B.F. (cc/min.)	92	88	80	73	73	68	63	60	50	38
% Change	0	-5	-13	-21	-21	-26	-31	-35	-46	-59
C.C.B.P. (mmHg)	121	106	100	93	95	85	83	60	55	50
% Change	0	-12	-17	-23	-22	-30	-31	-50	-55	-59
M.A.B.P. (mmHg)	116	116	102	96	87	90	83	73	66	50
% Change	0	0	-12	-17	-25	-23	-28	-37	-43	-57

2. Hydroxyphenylmethylaminoethanol chloride

Time in seconds		5	10	20	30	40	50	60	70
C.C.B.F. (cc/min.)	110	80	70	75	80	90	100	100	110
% Change	0	-27	-36	-32	-27	-18	-9	-9	0
C.C.B.P. (mmHg)	121	196	200	205	200	200	200	200	200
% Change	0	62	65	69	65	65	65	65	65
M.A.B.P. (mmHg)	116	200	200	205	210	210	210	210	210
% Change	0	72	72	77	81	81	81	81	81

3. Hypovolemia

Time in minutes		10	15	20	22	25	30
C.C.B.F. (cc/min.)	90	70	43	30	19	11	0
% Change	0	-22	-52	-67	-79	-88	-100
M.A.B.P. (mmHg)	86	86	86	73	40	40	30
% Change	0	0	0	-15	-54	-54	-65

C. C. B. F. : Common carotid blood flow (mean)

C. C. B. P. : Common carotid blood pressure (mean)

M. A. B. P. : Mean arterial blood pressure

Dewar¹⁰⁾ 以来報告されているが、これは脳血管の拡張をきたすことにもとづくと考えられている。C₆投与のとき頸動脈血流は一般に血圧と正相関にあることが実験的に明かである。脱血による低血圧は、出血性ショックをきたす点を考慮すると、心性因子、アシドーシスなど化学的心機能障害因子、個体差の多い心予備力等の諸因子に支配され、血圧-流量の関係のみで予後に関する critical level を推定することは不可能である。Weidner⁵⁷⁾ によると、出血性ショックによる血中総 catecholamine 濃度の上昇を認めているが、第4表(III)にみるように、末梢循環の流量の面の反応態度は epinephrine 投与による場合と類似し、血圧の維持にかかわらず、有効血流量は22~52%減少している事実はこの

にあたるものと考えられる。然し一般に出血による心拍子量の低下は venous return の減少によるとされ、これがショック進行の主因子であり、脱血の途中 replacement をおこなうための指標を頸動脈血流のみに求めることは困難である。

Epinephrine による昇圧効果は、総頸動脈血流量を減少せしめるがこれは、総頸動脈支配域の末梢血管抵抗の増加とみなされる。サルにおける内頸動脈血流の変化³⁹⁾⁵⁴⁾と比較して犬においても内頸動脈領域に passive の流量増加機転が存在するか否かは、その頭蓋内外動脈間吻合の存在から詳細は不明である。血流-血圧の関係は大脳皮質のポーラグラフ法による酸素分圧の示す態度²⁴⁾と一致しており、総頸動脈血流によつ

て脳血流動態の経時的変化は追究可能であろう。又総頸動脈圧が生理的範囲の変化である場合、流量変化に対して最も重要な因子は血圧変化であるという Fin-esinger の見解¹³⁾は首肯される。

**第IV章 急性頭蓋内圧亢進時の
総頸動脈血流動態**

1. 実験方法

7.0~12.5kgの成犬を用い、第II章と同様の麻酔、呼吸管理をおこなった。CI型3.0mmのprobeを用いて右総頸動脈血流量を測定、さらに右側頭部に穿頭をおこない、硬膜外腔に latex balloon を挿入、これに生理的食塩大2.0~6.0cc 注入できる注射筒を接続する。穿孔は歯科用セメントによつて充てん、密閉する。髄液圧は #18穿刺針によつて大槽穿刺をおこない、日本光電製 MP-3 型血圧計によつて測定、連続記録しさらに股動

脈圧を測定記録した。上矢状静脈洞内圧を測定した例は、polyethylene 細管による静脈洞内挿入によつてこれをおこなつた。

2. 実験結果 (第5表)

大槽内髄液圧が200mm 水柱以下、200~400mm 水柱、400mm 水柱以上の3群に分け、硬膜外 balloon 内の容量を増減する。注入速度によつて balloon 内注入量が少量でも、徐脈、一過性呼吸障害の発現をみる例があるので、注入後5~10秒経過し、安定した流量を示すとき測定値とした。

硬膜外圧迫法によつては、一般に全身性反応が生じる上、その発現には個体差がある。そのため、所用の髄液圧を一定にするよう留意し balloon 内容量は一定しない。側頭部に space occupying mass をおくため、犬の小脳天幕が骨性であることから、天幕上脳圧を大槽内圧が必ずしも反映しない点を考慮した。又大槽内

Table 5

Dog No.	Wt.	C. C. F.		M. A. B. P.		C. S. F. P.	
		C	E	C	E		
I	25	8.0	92	80	116	96	180
	27	7.0	67	67	90	85	200
	31	9.0	110	110	110	110	160
	32	9.0	45	35	123	123	160
	33	10.5	48	40	80	75	150
Mean Values			72	66	104	98	170
II	27	7.0	60	100	103	123	250
	29	12.0	50	70	93	93	250
	32	9.0	45	38	120	130	390
	32	9.0	45	35	123	120	270
	33	10.5	60	40	80	90	360
Mean Values			52	57	104	111	304
III	25	8.0	92	70	116	120	500
	26	9.5	90	80	116	130	500
	29	12.5	45	35	100	115	600
	32	9.0	45	25	120	150	800
	33	10.5	58	32	70	130	600
Mean Values			66	48	104	129	600

Wt. : Body weight (kg)

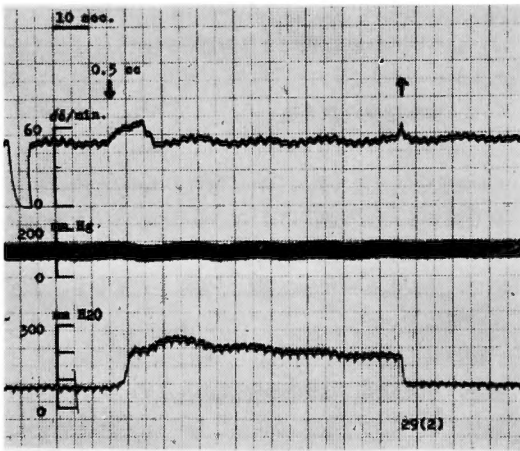
C. C. F. : Common carotid blood flow (cc/min)

M. A. B. P. : Mean arterial blood pressure (mmHg)

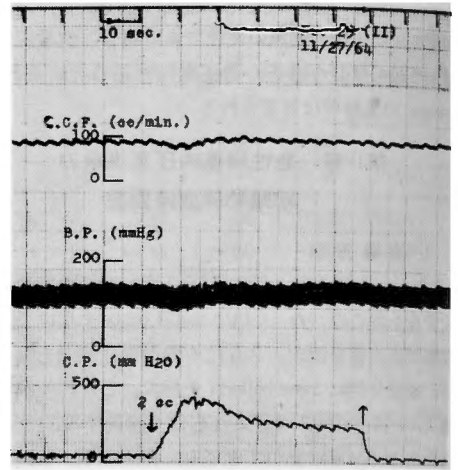
C. S. F. P. : Cisternal pressure (mm of water)

C : Control observations

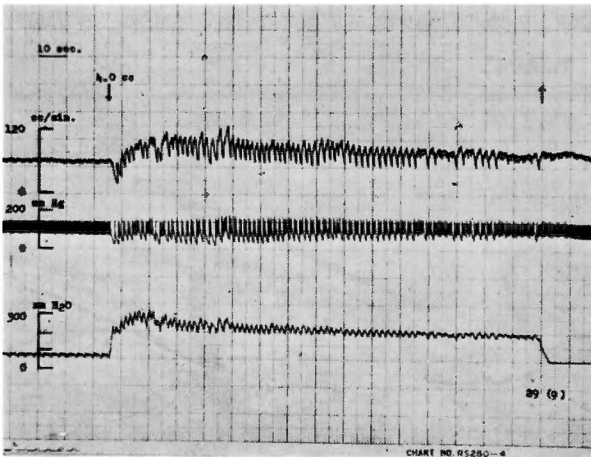
E : Observations following epidural compression



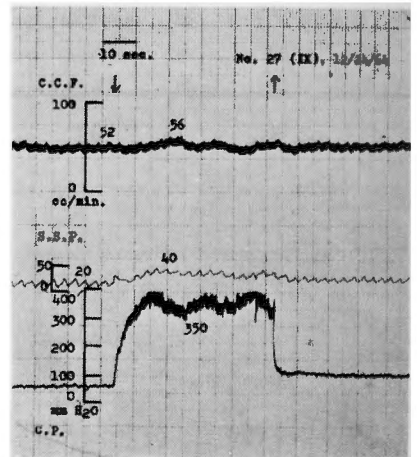
(A)



(B)



(C)



(D)

Fig. 19 Various reactions in common carotid blood flow (C.C.F.) and systemic blood pressure (B.P.) following extradural brain compression. C.P. : Cisternal pressure, S. S. P. : superior sagittal sinus pressure.

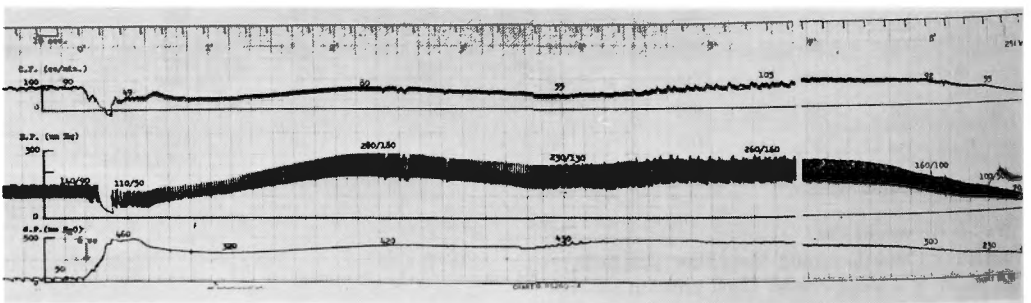


Fig. 20 Tentorial herniation induced by acute supratentorial extradural compression. Common carotid blood flow (C. F.), systemic blood pressure (B. P.), and cisternal pressure (C. P.) are checked.

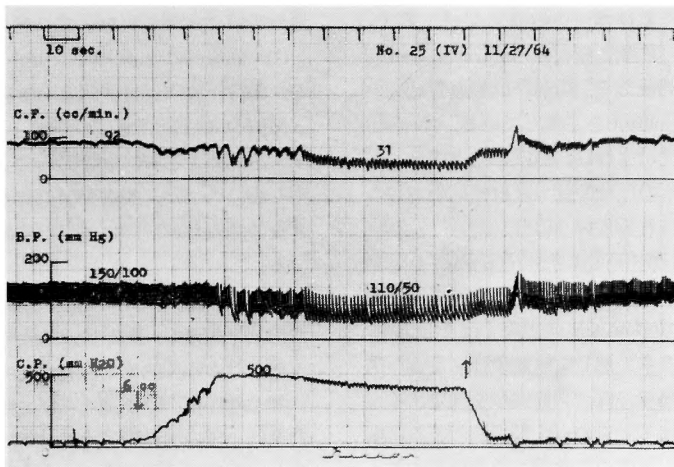


Fig. 21 Generalized reaction induced by acute extradural compression.

に留置した穿刺針の先端が圧迫時閉鎖され、正確に内圧を示さない場合があるので、この点注意した。圧を400mm水柱以上に亢進せしめた第Ⅲ群では陽陰圧呼吸器を用いて、呼吸を維持し、他の群には呼吸器を使用しなかつた。

第Ⅰ群（髄液圧200mm水柱以下）では、右総頸動脈血流量は対照流量より8.3%減少し ($t=2.37, p>0.05$)、平均血圧は5.8%下降 ($t=1.63, p>0.05$) して、流量、血圧とも減少傾向にあるが、有意の変化ではない。これは、血圧下降による流量減少とみるべきで、麻酔深度にも関係すると考えられ、200mm水柱以下の脳圧亢進では、圧迫側と同側の総頸動脈血流量には変化を与えない。

第Ⅱ群（髄液圧200～400mm水柱）では、右総頸動脈血流量は平均9.6% ($t=0.42, p>0.05$)、全身血圧は平均6.7% ($t=1.15, P>0.05$) いずれも増加を示すが有意の変化ではない。

第Ⅲ群（髄液圧400mm水柱以上）では右総頸動脈血流は平均27.3%減少 ($t=5.42, p<0.01$)、全身平均血圧は平均24.0%増加 ($t=2.52, p<0.1$) を示し、いずれも有意の変化である。

以上小括すると、大槽内髄液圧が400mm水柱以下では全身血圧、総頸動脈血流量は有意の変化を認めず、その増減は個体差を示すが、400mm水柱以上に維持した場合、全身血圧の亢進にかかわらず、総頸動脈血流量は減少している。

これを各実験例についてみると、第19図Aの第Ⅰ群に属する例においても、balloon膨大時および縮小時

に、一過性に頸動脈血流量は増加するが、血圧、流量には全体として変化をきたさない。第Ⅱ群に相当する例では流量、血圧とも軽度増加を示すにとどまるか（第19図B、D）あるいは、徐脈等の全身反応をきたし、頸動脈血流の増加する例（第19図C）も認められる。一般に硬膜外圧迫によつて上矢状洞静脈圧は亢進し、venous congestionをきたす（第19図D）。天幕上硬膜外圧迫によつて、著明な全身高血圧、総頸動脈血流の減少、呼吸停止をみた例（第20図）では剖検によつてtentorial herniationを確認した。頭蓋内圧亢進によつて、呼吸性、血管性障害をきたした。第Ⅲ群の1例では、全身性反応に一致して、総頸動脈血流量は減少する（第21図）。

硬膜外圧迫側と反対側の総頸動脈血流量を測定すると、大槽内圧400mm水柱以下の群ではballoon膨大時一過性に30～50%の血流量の増加をみるが、注入後の血流量の変化はみられない。400mm水柱を越える群では、同側の変化と同様であり、その減少率、増加率に同側との間に有意の差は認められない。又椎骨動脈血流を測定できた少数例では、頸動脈血流の変化と同様の傾向を示した。

3. 考 察

急性脳圧亢進時、脳の供給される血流の pressure head は当然減少し、代償性血圧上昇によつて脳血流量が維持されるが、脳圧亢進が400mm水柱以下の場合には、頸動脈血流量の面からも推測される。このときの血圧上昇機転はCushing⁸⁾の“capillary anemia of the medulla”の説以来、多くの仮説があり¹⁾⁴⁶⁾⁴⁷⁾、又

脳血流の生理的調節機転は Sherrington のいう 2 因子、すなわち動脈圧ならびに脳血管自体の intrinsic control によるという説以来諸説ある。Cobb⁷⁾は脳血管抵抗の変化による intrinsic control を主張している。Evans¹²⁾の実験的、臨床的研究によれば、血圧の亢進機転に先じて、脳内 arterioles の即時性及つ反射性拡張がおこり、脳血流維持がなされるという。

実験的に、急性頭蓋内圧亢進を作成し観察する場合、前述のように Rete mirabile の存在など²³⁾、総頸動脈血流を脳血流の inflow side の表現とはなしえず、また実験上の限界もある。然し実験結果は、血流の消長を指標として、脳循環の自己調節機転を推定する可能性を示している。この点、N₂O法による、脳血流量測定と異なり、血流の短時間内の変化を知ることができるので有用な方法といえる。脳圧迫法による頭蓋内圧亢進の際、髄液圧、頸動脈血流量および全身血圧との相互関係は脳圧400mm水柱以下では一定の血流を維持する機転が存在する。400mm水柱以上の場合、一般に血圧亢進と血流減少を示し、N₂O法を用い脳循環量を測定した結果²⁶⁾³²⁾⁵⁰⁾とも一致するが、他の全身性諸因子が加わり²²⁾³³⁾、全体として複雑な反応を示す。これは Rapela⁴³⁾の述べるように、代謝性因子および脳血管の脆弱性が大きな役割を果すためであると考えられる。また一側硬膜外圧迫のとき圧の他側への伝達は注入速度に依存し、大槽内への伝達は脳底槽の patency に依存する²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾点も、考慮されねばならない。

結 語

(1) Kolin らによつて考案された sine-wave electromagnetic flowmeter を実験的に使用し、その原理、特徴、較正法について考察した。本流量計は、物理的諸条件によつて感度が影響されず、流量の瞬間的変化にも反応し、さらに血流方向の変化も知ることができ、測定にあつては血管に侵襲を加える必要がない等の諸点が特徴といえる。

(2) 本流量計を使用して、犬の頸動脈および椎骨動脈血流を測定したところ、それぞれ平均90.9cc/分(±38.0cc/分)、21.0cc/分(±4.8cc/分)であつた。

(3) 犬総頸動脈、椎骨動脈血流量の変化を頸部諸動脈の単独または複数の急性閉塞例で観察し、頸動脈系の閉塞による椎骨動脈系の血流増加率が一般に大であること、開存動脈の血流量増加が著明で犬の頸部諸動脈間の代償機転の有効性が大であり、側副血行路の発

達のよいこと等が明かとなつた。

(4) 臨床的に subclavian steal syndrome と称せられる、鎖骨下動脈近位側閉塞を実験的に作成し、閉塞側と同側の椎骨動脈血流の逆転(平均291%±54.2%減少)を認め、さらに血管撮影によりその血流動態を観察した。犬では、脳底動脈血行不全は急性例、慢性例とも認められず、(3)に述べた側副血行路の発達を示唆する。

(5) 内頸動脈瘤の2症例に頸動脈結紮時、内頸動脈血流量を測定し、結紮による血流量の減少率を測定し本流量計の臨床的応用の有用性を論じた。

(6) 昇圧剤、降圧剤ならびに脱血による全身高血圧乃至低血圧の総頸動脈血流に対する影響を実験的に観察し、血圧—血流の関係を考察した。

(7) 硬膜外脳圧迫による頭蓋内圧亢進時における総頸動脈血流量の変化は大槽髄液圧400mm水柱以下の群では有意の変化を認めず、400mm水柱を越える群では全身血圧の27.3%亢進、総頸動脈血流の24.0%低下を示した。急性頭蓋内圧亢進時、脳流入血流の1指標として頸動脈血流を観察することができるが、本法による頭蓋内圧亢進は複雑な全身反応を生ずる場合があり、流入側血流の面からのみの病態の究明では十分とは云い難い。

(終始本研究に御指導、御助言を賜つた半田 肇教授に謝意を表する)

REFERENCES

- 1) Alexander, S., and Kerr, F. W. L. : Blood pressure responses in acute compression of the spinal cord. *J. Neurosurg.*, **21** : 485, 1964.
- 2) Ashby, R. N., Karras, B. G., and Cannon, A. H. : Clinical and roentgenographic aspects of the subclavian steal syndrome. *Am. J. Roentgenol., Rad. Therapy & Nuclear Med.*, **90** : 535, 1963.
- 3) Austen, W. G., and Shaw, R. S. : Isolated upper-extremity symptoms due to obstruction of the aortic origin of the left subclavian or innominate artery. *New Engl. J. Med.*, **266** : 489, 1962.
- 4) Batson, O. V. : Anatomical problems concerned in the study of cerebral blood flow. *Fed. Proc.*, **3** : 139, 1944.

- 5) Bloor, B. M., Fricker, J., Nishioka, H., and McCutchen, J. : A study of cerebrospinal fluid oxygen tension. *Arch. Neurol.*, **4** : 37, 1961.
- 6) Bouckaert, J. J., and Heymans, C. : On the reflex regulation of the cerebral blood flow and the cerebral vaso-motor tone. *J. Physiol.*, **84** : 367, 1935.
- 7) Cobb, S., and Lennox, W. G. : Cerebral circulation—intrinsic control and clinical phenomena. *Fed. Proc.*, **3** : 151, 1944.
- 8) Cushing, H. : Concerning a definite regulatory mechanism of the vaso-motor centre which controls blood pressure during cerebral compression. *Johns Hopk. Hosp. Bull.*, **12** : 290, 1901.
- 9) Denison, A. B., Jr., and Spencer, M. P. : Square-wave electromagnetic flowmeter design. *Rev. sci. Instr.*, **27** : 707, 1956.
- 10) Dewar, H. A., Owen, S. G., and Jenkins, A. R. : Effect of hexamethonium bromide on the cerebral circulation in hypertension. *Brit. Med. J.*, **11** : 1017, 1953.
- 11) Editorial : A new vascular syndrome— “The subclavian steal” *New Engl. J. Med.*, **265** : 912, 1961.
- 12) Evans, J. P., Espey, F. F., Kristoff, F. V., Kimbell, F. D., and Ryder, H. W. : Experimental and clinical observations on rising intracranial pressure. *Arch. Surg.*, **63** : 107, 1951.
- 13) Finesinger, J., and Putnam, T. J. : Cerebral circulation. XXIII. Induced variations in volume flow through the brain perfused at constant pressure. *Arch. Neurol. Psychiat.*, **30** : 775, 1933.
- 14) Fischer, M. J., and Matthey, W. E. : The subclavian steal syndrome. *Am. J. Roentgenol., Rad. Therapy & Nuclear Med.*, **90** : 532, 1963.
- 15) Folger, M. G., Jr., and Shah, K. D. : Subclavian steal in patients with Blalock-Taussig anastomosis. *Circulation*, **31** : 241, 1965.
- 16) Gorman, J. F., Navarre, J. R., and McLean, H. : Subclavian steal syndrome. *Arch. Surg.*, **88** : 350, 1964.
- 17) 半田 肇ほか : 頸動脈病変と脳血管性障害—外科の立場から—*日本臨床*, **22** : 1496, 1961.
- 18) 半田 肇 : 脳動脈閉塞と脳病変, 特に既存動脈吻合循環の重要性について. 第5回日本神経学会総会, 1964.
- 19) Handa, J., Ishikawa, S., Huber, P., and Meyer, J. S. : Experimental production of the “Subclavian steal” : Electromagnetic flow measurements in the monkey. *Surg.*, **58** : 703, 1965.
- 20) Hardesty, W. H., Roberts, B., Toole, J. F., and Royster, H. P. : Studies of carotid artery blood flow in man. *New Engl. J. Med.*, **263** : 944, 1960.
- 21) Hardesty, W. H., Roberts, B., Toole, J. F., and Royster, H. P. : Studies on carotid artery flow. *Surg.*, **49** : 251, 1961.
- 22) Huber, P., Meyer, J. S., Handa, J., and Ishikawa, S. : Electromagnetic flowmeter study of carotid and vertebral blood flow during intracranial hypertension. *Acta Neurochir.*, **13** : 37, 1965.
- 23) Hunt, W. E., Meagher, J. N., Friemanis, A., and Rossel, C. W. : Angiographic studies of experimental intracranial hypertension. *J. Neurosurg.*, **19** : 1023, 1962.
- 24) 石川 進 : ポーラログラフ法による脳副行循環の研究, 特にその臨床的応用を目的として. *日外宝*, **30** : 303, 1961.
- 25) Jarnum, S., Lorenzen, I., and Skinhøj, E. : Cisternal fluid oxygen tension in man. *Neurology*, **14** : 703, 1964.
- 26) Kety, S. S., Shenkin, H. A., and Schmidt, C. F. : The effects of increased intracranial pressure on cerebral circulatory functions in man. *J. Clin. Invest.*, **27** : 493, 1948.
- 27) Kolin, A. : An electromagnetic flowmeter. Principle of the method and its application to bloodflow measurements. *Proc. Soc. Exper. Biol. & Med.*, **35** : 53, 1936.
- 28) Kolin, A. : *Circulatory system : Methods, blood flow determination by electromagnetic method.* Medical Physics, Vol. 3, pp. 141, Year Book Publishers, Chicago, 1961.
- 29) Langfitt, T. W., Kassell, N. F., and Weinstein, J. D. : Cerebral blood flow with intracranial

- hypertension. *Neurology*, **15** : 761, 1965.
- 30) Langfitt, T. W., Weinstein, J. D., Kassel, N. F., and Gagliardi, L. J. : Transmission of increased intracranial pressure. II Within the supratentorial space. *J. Neurosurg.*, **21** : 998, 1964.
- 31) Langfitt, T. W., Weinstein, J. D., Kassel, N. F., and Simeone, F. A. : Transmission of increased intracranial pressure. I. Within the craniospinal axis. *J. Neurosurg.*, **21** : 989, 1964.
- 32) Lassen, N. A. : Cerebral blood flow and oxygen consumption in man. *Physiol. Rev.*, **39** : 183, 1959.
- 33) Mahaley, M. S., Jr., Smith, J. L., and Odom, G. L. : Ophthalmic arterial pressure and flow during extracorporeal perfusion of carotid of dogs and monkeys. *J. Neurosurg.*, **20** : 1080, 1963.
- 34) Mannick, J. A., Suter, C. G., and Hume, D. M. : The "subclavian steal" syndrome: a further documentation. *J. A. M. A.*, **182** : 254, 1962.
- 35) Marshall, R. J., and Mantini, E. L. : Dynamics of the collateral circulation in patients with subclavian steal. *Circulation*, **31** : 249, 1965.
- 36) Massumi, R. A. : The congenital variety of the "subclavian steal" syndrome. *Circulation*, **28** : 1149, 1963.
- 37) McDonald, D. A., and Potter, J. M. : The distribution of blood to the brain. *J. Physiol.*, **114** : 356, 1951.
- 38) Medicon Communique, No. 50, pp. 2, 1963.
- 39) Meyer, J. S., Ishikawa, S., and Symon, L. : Effects of drugs and brain metabolism on internal carotid arterial flow. An electromagnetic flow meter study in the monkey. *Am. J. Med. Elect.*, **3** : 169, 1964.
- 40) Newton, T. H., and Wylie, E. J. : Collateral circulation associated with occlusion of the proximal subclavian and innominate arteries. *Am. J. Roentgenol., Rad. Therapy & Nuclear Med.*, **91** : 394, 1964.
- 41) North, R. R., Fields, W. S., DeBakey, M. E., and Crawford, E. S. : Brachialbasilar insufficiency syndrome. *Neurology*, **12** : 810, 1962.
- 42) Patel, A., and Toole, J. F. : Subclavian steal syndrome—reversal of cephalic blood flow. *Medicine*, **44** : 289, 1965.
- 43) Rapela, C. E., and Green, H. D. : Autoregulation of canine cerebral blood flow. *Suppl. I to Circ. Res.*, **14 & 15** : 205, 1964.
- 44) Rein, H. : Über Besonderheiten der Blutzirkulation in der arteria carotis. *Z. Biol.*, **89** : 507, 1929.
- 45) Reivich, M., Holling, H. E., Roberts, B., and Toole, J. F. : Reversal of blood flow through the vertebral artery and its effect on cerebral circulation. *New Engl. J. Med.*, **265** : 878, 1961.
- 46) Rodbard, S., and Saiki, H. : Mechanism of the pressor response to increased intracranial pressure. *Am. J. Physiol.*, **168** : 234, 1952.
- 47) Rodbard, S., and Stone, W. : Pressor mechanisms induced by intracranial compression. *Circulation*, **12** : 883, 1955.
- 48) Sammartino, W. F., and Toole, J. F. : Reversed vertebral artery flow. The effect of limb exercise and hypertensive agents. *Arch. Neurol.*, **10** : 590, 1964.
- 49) Siekert, R. G., Millikan, C. H., and Whisnant, J. P. : Reversed blood flow in the vertebral arteries. *Ann. Intern. Med.*, **61** : 64, 1964.
- 50) Sokoloff, L., and Kety, S. S. : Regulation of cerebral circulation. *Physiol. Rev.*, *Suppl. 4*, **40** : 38, 1960.
- 51) Steinberg, I., and Halpern, M. : Roentgen manifestations of the subclavian steal syndrome. *Am. J. Roentgenol., Rad. Therapy & Nuclear Med.*, **90** : 528, 1963.
- 52) Stern, W. E. : A preliminary report of experimental and clinical observations upon cervical carotid artery blood flow. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, **25** : 303, 1962.
- 53) Tetrick, J. E., and Mengoli, L. : Calibration and use of square-wave electromagnetic flowmeter. *Surg.*, **54** : 621, 1963.
- 54) Tindall, G. T., Greenfield, J. C., Jr., Dillon,

- M. L., and Odom, G. L. : Effect of hemorrhage on blood flow in the carotid arteries. *J. Neurosurg.*, **29** : 763, 1964.
- 55) Tindall, G. T., Odom, G. L., Cupp, H. B., Jr., and Dillon, M. L. : Studies on carotid artery flow and pressure. Observations in 18 patients during graded occlusion of proximal carotid artery. *J. Neurosurg.*, **19** : 917, 1962.
- 56) Tindall, G. T., Odom, G. L., Dillon, M. L., Cupp, H. B., Mahaley, M. S., Jr., and Greenfield, J. C., Jr. : Direction of blood flow in the internal and external carotid arteries following occlusion of the ipsilateral common carotid artery. *J. Neurosurg.*, **20** : 985, 1963.
- 57) Weidner, M. G., Jr., Albrecht, M., and Clowes, G. H. A., Jr. : Relationship of myocardial function to survival after oligemic hypotension. *Surg.*, **55** : 73, 1964.
- 58) Wetterer, E. : Eine neue Method zur Registrierung der Blutstromungsgeschwindigkeit am uneröffneten Gefäß. *Ztschr. f. Biol.*, **98** : 26, 1937.
- 59) Williams, C. L., Scott, S. M., and Takaro, T. : Subclavian steal. *Circulation*, **28** : 14, 1963.