脳脊髄液短絡路内の流量について

—正常作動例の検討—

角家 暁・伊東正太郎・久保田紀彦*・前田 敏男**

Flow Rates of Cerebrospinal Fluid Shunts

—Evaluation on Normally Functioning Shunts—

SATORU KADOYA, SHOTARO ITO, NORIHIKO KUBOTA* and TOSHIO MAEDA**

Department of Neurosurgery, Kanazawa Medical University, Ishikawa 920-02

**Department of Neurosurgery, University of Kanazawa*

***Department of Nuclear Medicine, University of Kanazawa*

Summary

Flow rates and flow patterns of cerebrospinal fluid shunts were evaluated in 55 cases of normally functioning shunts (Rickham-Holter shunts: 20, Pudenz shunts: 35). After approximately 0.05 ml of 100 μ Ci of ^{99m}Tc -pertechnetate was injected into a reservoir, the radioactivity clearance half-time ($T_{1/2}$) was determined. Then, a flow rate (F ml/min) was calculated according to the formula established in the previous studies: $\log_{10} (F) = -1.8 \log_{10} (T_{1/2}) + 0.019$ in the standard Rickham reservoir and $\log_{10} (F) = -1.3 \log_{10} (T_{1/2}) + 0.087$ in the Pudenz 12 mm reservoir. From the 109 observations evaluating flow rates and their patterns it became apparent that CSF flow through the implanted shunts was not continuous but rather sporadic, depending upon the patient's posture and the intraventricular pressure. The difference in the shunt devices showed no influence at all. In sitting positions flow rates of more than 0.1 ml/min were usually observed, whereas in supine positions flow rates ranged from 1.0 ml/min to 0.01 ml/min or below. When flow rates were determined sequentially in both sitting and supine positions, those in the sitting position were higher than those in the supine positions in 96%, and furthermore, in 33% the lowest flow rates were in the supine position. Flow rates and their patterns were found basically consistent in cases reexamined at long intervals of 10 days and 2, 6 and 12 months.

Key words: CSF shunt flow, radioisotope clearance

I はじめに

シャント手術は脳神経外科領域で広く行われている手術であるが、シャント設置後の脳脊髄液の動態について詳しいことはいまだ十分に解明されていない。

我々はシャント内の流量測定を目的としてファントムを用いた基礎実験を重ね、Rickham-Holter および Pud-

enz のシャントシステムについて、それぞれのリザーバー内に注入された少量の radioisotope の放射能半減期 ($T_{1/2}$, RI クリアランス) より流量を求める計算式を得た⁵⁾⁶⁾。

この論文では、我々の流量測定法を用いて検討した、正常作動例のシャント内の脳脊髄液流量とパターンについて報告する。

金沢医科大学脳神経外科

* 金沢大学脳神経外科

** 金沢大学核医学科

[連絡先: 〒920-02 石川県河北郡内灘町字大学1の1, 金沢医科大学脳神経外科, 角家 暁]

1980年7月23日 受稿

II 症例および測定法

症例：対象は Rickham-Holter (R. H.) シャント20例 (脳室-腹腔シャント19例, 脳室-心房シャント1例), および Pudenz シャント35例 (脳室-腹腔シャント31例, 脳室-心房シャント4例) で, 延べ109回の測定が行われた。年齢は15才以上の成人47例, 15才以下の小児8例で, 男性33例, 女性22例である。全55例ともシャントの malfunction を示す徴候はなく, レントゲン写真上でみたシャント装置の位置も正常で, パルプおよびリザーバーの状態より, シャント機能が正常に作動していると診断された症例である。設置されたシャントリザーバーは, Rickham リザーバー; 直径7.5 mm の標準型 (内容容積; 平均0.13 ml), Pudenz リザーバー; 直径12.0 mm の single lumen type (内容容積; 平均0.3 ml) で, それぞれ接続された Holter, Pudenz 両パルプの closing pressure は術中の測定で40~60 mmH₂O のものを使用している。

測定方法：被験者のリザーバー部を剃髪し, 丁寧に消毒する。検査直前に無菌的にミルキングした ^{99m}TcO₄⁻ 液0.05 ml (放射能は約 100 lc Ci) を経皮的に26 Gの注射針にて, 脳室内に逆流させないよう注意しながら静かにリザーバー内へ注入する。注入後, ガンマカメラの検出器をリザーバー部が中心に位置するように固定し, 関心領域 (ROI) をこのリザーバー部に設定して, 放射能クリアランスをビデオテープレコーダーか, シンチパック201型に記録する。体位は原則として, 初め坐位, 次に臥位で行う。測定時間は各体位について10分間である。測定終了後, 各体位について10秒毎の time-activity 曲線を作製, この曲線に対数表示してリザーバー部の放射能クリアランス半減期 (T_{1/2}) を求め, 我々の基礎実験より得た次の流量計算式で短絡路内の脳脊髄液流量 (F) を計算した。

Rickham リザーバー :

$$\log_{10}(F) = -1.8 \log_{10}(T_{1/2}) + 0.019$$

Pudenz リザーバー :

$$\log_{10}(F) = -1.3 \log_{10}(T_{1/2}) + 0.087$$

この測定式で実用上測定できる流量の範囲は, 毎分1.0 ml より0.01 ml である。流量が1.0 ml/min 以上のとき, RI クリアランスの半減期は1分以内となり, リザーバーに RI を注入してからガンマカメラをセットするまでの間に, 注入された RI の activity が急激に減少するので T_{1/2} の測定が不可能であり, 他方0.01 ml/min 以下のときは T_{1/2} が約10分以上となり, 10分間の測定時間では正確な T_{1/2} が求められず, 実際的にほとんど流れ

ていないと判定した。

この測定方法は, シャントのリザーバーを直接穿刺するため感染の危険があるが, 細心の注意のもとに無菌的に注入しているため, 測定による感染は1例も経験していない。脳脊髄液中の蛋白濃度が流量測定に影響を与えるかどうかは問題となるが, アルブミン濃度で5,000 mg/dl までは無関係であった⁶⁾。

なお対象症例のシャントを必要とした基礎疾患は, 腫瘍性疾患23例, クモ膜下出血17例, 先天性水頭症6例, 髄膜炎5例, 脳内出血3例, 頭部外傷1例である。

III 結 果

1. 流量パターン

リザーバー内に注入された RI のクリアランス曲線を時間に対する半対数表にプロットすると, 測定方法の項で述べたごとく T_{1/2} を求める指数曲線が得られる (Fig. 1)。この曲線が Fig. 1A のごとく一相性となる場合, 短絡管内の流量は経時変化がなく一定なことを示しているが, Fig. 1B のごとくこの曲線が三相性を示す場合, 流量は一定でなく時間によって異なり, それぞれの T_{1/2} に対応する各流量が計算される。

Fig. 2 はリザーバーに RI を注入後, 10分間のクリア

Fig. 1 RI clearance curves of CSF shunts.

A: Single exponential curve showing continuous flow during the observation period in the sitting position. B: Tri-phasic clearance curve showing variable flow rates in the supine position. Pictures above: Direct recordings. Each dot presents radioactivity counts at 10 sec intervals. Figures below: Radioactivity counts plotted on a semi-logarithmic scale.

Supine Position			C. S. F. Flow		Sitting Position			
Rickham Pudenz -Holter		Total	Pattern		Rickham Pudenz -Holter		Total	
7	8	15 25%	A		0	0	0	
5	5	10 17%	B		0	1	1 2%	
3	4	7 12%	C		9	8	17 35%	
9	19	28 46%	D		17	14	31 63%	
Total	24	36	60	100%	26	23	49	100%

Fig. 2 Flow patterns of CSF shunts. RI clearance curves on semi-logarithmic scales were classified into four major types. A: almost no flow, B: high flow rates following initial low flow, C: low flow rates following initial high flow, and D: constant flow during the observation period of 10 min. Flow patterns varied depending on the posture. The difference in shunt devices showed no influence.

ランス曲線を A, B, C, D の 4 型のパターンに大別, 流量の経時変化とシャントの種類, 体位との関連をみた図である。なお Fig. 1B のごとき三相性の変化が坐位で 1 例, 臥位で 2 例に観察されたが, 例数が少ないのでもっとも近似せる B または C 型に分類した。四相以上の多相型を示す症例はみられていない。

この Fig. 2 でみられるごとく, 短絡管内の流量パターンは R. H., Pudenz 両シャント間での差はなく, 体位によって異なっている。すなわち, 坐位では 49 回の測定中 31 回 (63%) が D 型で, 半坐位の 1 例を除き 0.1 ml/min ないし 1.0 ml/min 以上の流量が 10 分間の測定時間を通じて一定して流れており経時変化はみられない。次に 17 回 (35%) は C 型で, 初期の流量が 0.015 ml/min ないし 1.0 ml/min 以上みられるが, 途中より 0.6 ml/min ないし 0.01 ml/min 以下と減少するパターンである。残りの 1 回は B 型で, 初めはほとんど流れていないが途中より流れ始めるパターンで, この例では 1.0 ml/min 以上の流量がみられた。流量が 0.01 ml/min 以下の A 型は坐位では観察されなかった。

一方, 臥位では 60 回の測定中の 28 回 (46%) が D 型を呈したが, 流量は 0.029 ml/min ないし 0.66 ml/min と坐位より少ない。坐位と異なり 15 回 (25%) は A 型で, 流量は 0.01 ml/min 以下でほとんど脳脊髄液の流れがみられない。B 型および C 型はそれぞれ 10 回 (17%), 7 回 (12%)

Fig. 3 Flow rates of CSF shunts. In the sitting position the flow rates ranged from 0.1 ml/min to 1.0 ml/min and above except for a few occasions, whereas in the supine position the flow rates ranged from 1.0 ml/min to 0.01 ml/min and below. Symbols plotted above 1.0 ml/min and below 0.01 ml/min scales simply represent flow rates of more than 1.0 ml/min and of less than 0.01 ml/min respectively, because it was practically impossible to determine exactly the shunt flows in these extreme ranges.

※A measurement performed while in a recumbent position.

に観察された。

2. 短絡管内の流量

Fig. 3 は R. H. シャント (20 症例), Pudenz シャント (35 症例) について測定された坐位と臥位での流量をプロットした図である。測定方法の項で記したごとく, 流量の測定可能範囲は 1.0 ml/min より 0.01 ml/min までで, この両限を越えた場合それぞれ 1.0 ml/min 以上, 0.01 ml/min 以下としてプロットした。また流量パターンが二相ないし三相性の変化を示した場合, もっとも大きい流量の値をとった。

この図をみると, 坐位での流量は 0.015 ml/min より 1.0 ml/min, またはそれ以上にわたっているが, R. H. シャントでは 26 回中の 23 回 (88%), Pudenz シャントでは 23 回すべてに毎分 0.1 ml 以上の流量がみられている。R. H. シャントで 0.1 ml/min 以下が 3 回観察されているが, これを詳しくみると 0.015 ml/min の値は, 同一症例で坐位, 次に臥位, 再び坐位と連続して体位変換を 10 分ごとに行ったときの 2 回目の坐位のときの値で, この症例の初回の坐位時の流量は 0.44 ml/min であった (Fig. 5)。次の 0.06 ml/min は初回の坐位の流量であるが, 再び坐位をとったときには 0.3 ml/min の流量を示し

ている。※印の 0.052 ml/min は、病状のため半坐位しかとれなかった症例の値である。したがって詳細に検討すると、坐位では R. H., Pudenz シャントを問わず 0.1 ml/min 以上の流量があるといえる。

臥位での流量は毎分 1.0 ml より 0.01 ml 以下まで広く分布しているが、R. H. シャントの24回中19回(79%), Pudenz シャントの36回中18回 (50%) で流量は 0.1 ml/min 以下で、さらにこのうちの R. H. の7回, Pudenz の8回は流量が 0.01 ml/min 以下とほとんど流れていなかった。なお流量パターンにみられたと同様に、流量についても両シャント間での差はみられていない。

3. 体位と流量：同一症例での検討

坐位と臥位での流量を10分間隔で測定しえた症例は40例 (R. H. シャント; 18例, Pudenz シャント; 22例) であるが、このうちの5症例は、経時変化をみるために、測定日をかえて2回流量測定を行ったので45回の測定値が得られた。これより縦軸に坐位、横軸に臥位での流量をとって対比させたのが Fig. 4 である。なお坐位→臥位→坐位と測定した症例が4例あるが、この場合の坐位の流量はいずれも大きい方の値をとっている。見られるごとく、体位を変えた場合、45回の測定中96%で、坐位での流量が臥位の場合より大きい。さらに詳細にみると、35回(78%)で坐位では 0.1 ml/min の流量であるが、臥位にすると流量は 0.1 ml/min 以下である。特に15回(23%)では、臥位の流量は 0.01 ml/min 以下とほとんど流れていない。他方、坐位の流量が臥位時より大きく、ともに 0.1 ml/min 以上の流量を示したのは Pudenz シャント4例

Fig. 4 Correlation between shunt flow rates in the sitting and supine positions measured successively at a 10 min interval. Ordinate: flow rates in the sitting position. Abscissa: flow rates in the supine position. In cases showing bi tri-phasic RI clearance curves, maximum flow rates were plotted.

で5回, R. H. シャントの3例, 計8回(18%)である。この流量パターンを坐位→臥位でみると、 $C \rightarrow B: 1$, $C \rightarrow D: 3$, $D \rightarrow C: 2$, $D \rightarrow D: 2$ である。坐位、臥位ともにD型で連続した流量のみられた症例は2例で、坐位→臥位の流量は $0.47 \text{ ml/min} \rightarrow 0.28 \text{ ml/min}$ (R. H. V-P シャント), $0.23 \text{ ml/min} \rightarrow 0.10 \text{ ml/min}$ (Pudenz V-A シャント) である。

臥位での流量が坐位より大きい値を示したのは、Pudenz シャントの2例である。1例は V-P シャントで、坐位→臥位の流量とパターンは 0.23 ml/min (C) $\rightarrow$ 0.32 ml/min (B), 他の1例は V-A シャントで 0.46 ml/min (D) $\rightarrow$ 0.66 ml/min (D) であった。

次に同様に10分間隔で、初め坐位、次に臥位、再び坐位と連続して体位を変換して、30分間にわたり測定しえた4症例の流量とパターンを図示したのが Fig. 5 である。この4症例はすべて R. H. の V-P シャントである。初回と2回目の坐位での流量が臥位より高値を示したのは3例で、このうちの2例はほぼ同じ値がみられた。すなわち第1例は、初回の坐位では 1.0 ml/min 以上の流量が測定開始後3分間続くが、次に流量がほとんどなくなるC型のパターンを示し、続く臥位ではA型で流量はみられない。再び坐位にすると流量パターンはC型で、初回坐位時と同様の 1.0 ml/min 以上の流量が1分間のみあり、その後の9分間の流量は0である。第2例は、初めの坐位で 0.35 ml/min の流量が10分間持続しており (D型)、臥位にすると 0.013 ml/min に減少、しか

Fig. 5 Flow rates and patterns of the Rickham-Holter shunts observed sequentially in the sitting, supine and sitting positions of 10 min intervals. Flow rates vary predominantly with the posture. Symbols A, B, C, and D correspond to the flow patterns exhibited in Figure 2.

し3分後より0.072 ml/min と増加, 7 分間持続する (B 型). 再び坐位をとると, 0.3 ml/min と初回坐位時とほぼ同じ流量がみられるが, 5 分後より 0.04 ml/min と減少する (C 型). 第3例は坐位で0.066 ml/min と少ない流量が10分間あり (D 型), 臥位では流量は 0 である. しかし再び坐位にすると0.3 ml/min の流量が2分間みられ, 後の8分間は0.04 ml/min であった. 体位変換ごとに流量が減少したのは第4例で, 坐位で0.44 ml/min の流量が2分間, 次の8分間は0.015 ml/min と減少し (C 型), 臥位では0.032 ml/min の流量が持続するD型, 再び坐位をとっても4分間は0.015 ml/min で, 後の6分間は流れがない.

以上4症例の連続30分間にわたる体位を変換しての流量測定より, 短絡管内の流量は, 体位および脳室内圧と密接に関連していると示唆される.

4. 長期間の流量変化

シャント設置後, 短絡管の抵抗に変化が起こり, 流量とパターンに影響がみられるか否かを, 間隔をおいて測定した5症例で検討した (Fig. 6). 測定間隔はR. H. シャントの4例で, 10日, 2カ月, 6カ月, 1年, Pudenz シャントの1例は6カ月である.

Fig. 6 Flow rates and patterns of the CSF shunts in four cases evaluated at intervals of 10 days, 2, 6, or 12 months. There were no fundamental changes in both shunt flows and patterns.

流量の変化を示したのは坐位, 臥位ともにそれぞれ5例中2例, 流量パターンの変化は臥位の1例のみにみられた. 坐位での流量増加の1例は0.52 ml/min (D型) より, 9日目の測定では1.0 ml/min (D型) と約2倍に増加しているが, 臥位での流量は0.01 ml/min でいずれもA型である. 他の例は0.4 ml/min より12カ月後に1.0 ml/min 以上と増量を示したが, 臥位では0.06 ml/min (D型) より流量がほとんどないA型パターンになっており, これが坐位での流量増加に反映されたのであろう. 臥位の1例で0.042 ml/min (B型) が, 2カ月後0.075 ml/min (B型) と約2倍弱の増量があるが, この症例の坐位での流量は0.19 ml/min (D型) より0.18 ml/min (D型) とほとんど変化がみられない.

以上よりシャント設置後長期間が経過しても, この内部を流れる脳脊髄液の流量, パターンの変動は少なく, 基本的には変動がないと結論される.

IV 考 按

脳脊髄液短絡路内の流量測定について松岡ら²⁾は, リザーバー内に RI を注入して T1/2 を測定した場合, 流量 F は理論上 $F = 0.693/T^{1/2} \cdot V$ (V: リザーバーの拡散容積) で計算されるとして, V の値にリザーバー容積を用い, Pudenz シャントの正常作動例39症例の臥位での流量平均は, 0.140 ± 0.115 ml/min であったと述べている. この方法はすでに Rudd ら¹⁰⁾が1973年に報告したのと同じ方法である. 我々も当初この理論式を検討したが, 実験を重ねた結果, この理論式は実際の測定条件には合致しないことを見出した. この詳細はすでに発表した⁶⁾⁶⁾, 要約すると流量がごく少ない間は理論式と実験上の流量は一致する. しかし, Rickham リザーバーでは0.0236 ml/min, Pudenz リザーバーでは0.0471 ml/min 以上の流量になると, この理論式で算出される流量が実際の流量と一致するのは, RI 注入後3分以内とごく短い間の流量のみで, この時間は流量増加とともにさらに短縮し, Rickham リザーバーでは0.094 ml/min, Pudenz リザーバーでは0.471 ml/min 以上の流量になると1分以内となる. これは Rickham および Pudenz リザーバーの構造が, 流入口が狭く, 次にリザーバー部で急に内径が増大, 流出口で再び狭く, かつ直角に曲がる形になっているため, 流速がある程度以上に大きくなると渦流を生じ, リザーバーの容積と拡散容積が一致しなくなるためと考えられる. したがってリザーバー内に RI を注入した直後, しばらくの間は注入時の影響が残り, RI は均等に拡散されているため, リザーバーの容積=拡散容積となり理論式が使え, 数分後には渦流

のために RI は均一に拡散せず、理論式は実際の流量を反映しなくなり、それぞれのリザーバーに合った計算式が必要となる。Ruddら¹⁰⁾の方法を追試した Harbertら⁴⁾も、Vとしてリザーバーの実際の容積は使用できないと報告している。なお松岡ら⁷⁾は、infusion ポンプを用いての実験で、理論式による流量と実測値が一致したと報告しているが、その内容を見ると測定時間は RI 注入後約2分以内のみで、これは我々の実験結果からみて、リザーバー内に注入された RI が人為的に均一に拡散しているごく短時間の相のみの観察であり、実際の流量は反映されていない。

今回のシャント正常作動例の流量計測で、短絡管内の流量は主に体位によって変動し、R. H., Pudenz 両シャントシステム間での差はみられなかった。

Rayport & Reiss⁹⁾, Fox ら²⁾ は、短絡管内の脳脊髄液の流れが乱流でない場合、流量 F は原則的に Poiseuille の法則： $F = \pi r^4 / 8 L n \cdot \Delta P$ に従うとしている。ここで r は短絡管の半径、 L はその長さ、 n は流体の粘度係数、 ΔP は短絡路両端の圧差である。この ΔP は Portnoy ら⁸⁾によると、脳室—腹腔（または心房）シャントでは $\Delta P = IVP + HP - (PP \text{ または } AP + CP)$ で示される。IVP は脳室内圧、HP は短絡管の中樞端と末梢端の落差、PP は腹腔内圧、AP は心房内圧、CP は使用されたシャントバルブの closing pressure である。さらにシャントバルブはそれぞれに固有の流量特性を持っている²⁾⁹⁾。これらの条件をみると、短絡管内を通る最大許容流量はシャントチューブの内径、長さ、コネクタの種類、数とシャントバルブの流量特性によって決まり、この中を実際に流れる脳脊髄液の量は生体側の条件、脳室内圧、心房または腹腔内圧、短絡管の落差によって決まってくる。前者の短絡管の最大容流量は、生体に埋めこまれたそれぞれのシャントについて固有の値を持つと考えられるが、その中の流量は生体側の条件、特に落差の影響がもっとも大きい。すでに Fox ら³⁾, Portnoy ら⁸⁾ は、脳室—心房（または腹腔）シャントを設置した場合、そのサイフォン効果により、坐位では脳室内圧が大幅な陰圧になることを観察しており、Yamada ら¹¹⁾は大槽—心房間に Holter シャントを設置したイヌで、頭部高位では大槽圧が同様に陰圧になることを報告している。

我々の今回の測定結果をみると、坐位をとった場合すべての症例で毎分 0.1 ml 以上の流量があり、35% の症例では数分後に流量が急激に減少して C 型の流量パターンを示した。これはサイフォン効果により脳室内圧が低下し、 ΔP が 0 に近くなったためであろう。一方、座位での短絡管内の流量パターンとして、一定流量が持続して

流れる D 型が 63% にみられた。これは観察時間が 10 分間と短いことによると考えられ、20～30 分間にわたって観察すれば、この間に脳室内圧は陰圧となり、C 型と同様なパターンを呈するのは確実であろう。これに対して臥位の場合、HP が 0 に近くなるため、主に脳室内圧によって流量がきまってくるが、シャントが正常に作動している場合は ΔP が小さいので座位より流量は少なく、約 25% の症例では流量パターンは A 型で、ほとんど脳脊髄液は流れていない。以上より、シャントが設置された場合、脳脊髄液はこの中を一定の流量で常に流れているのではなく、体位、脳室内圧に応じて断続的に流れていると結論される。

坐位と臥位での流量を連続して測定しえた症例の 78% で、座位の流量は 0.1 ml/min 以上あったが、臥位では 0.1 ml/min 以下と少なく、23% の症例では 0.01 ml/min 以下とほとんど流れていなかった。しかし 22% の症例では坐位、臥位ともに 0.1 ml/min 以上の流量があり、特に 3 症例では坐位、臥位を通して 0.1 ml/min 以上の流量が D 型パターンで連続的に流れている。我々の流量測定時間が 10 分間隔であるため、このような高流量が常時持続しているか否かは明らかではない。しかしながら、このような高流量の症例では硬膜下血腫、また slit ventricle などが生じやすいとも推測されるが、今後の検討を待たねばならない。

Holter バルブによる V-A シャントが 1～9 年後、その抵抗が増大したため新しくバルブを入れ直したとの報告がある¹⁾。しかし今回我々が追跡して再度流量測定を行いえた 4 例では、観察期間は 1 年未満と短い、流量およびパターンにはほとんど変化がみられず、種々な原因で短絡管が閉塞されないかぎり、一旦設置されたシャントの基本的な流量、パターンは変化しないと考えられた。

V 結 論

1. 我々が基礎実験より求めた脳脊髄液短絡路内の流量測定法を用いて、Rickham-Holter, Pudenz 各シャントの正常作動例 55 症例の短絡路内の流量とそのパターンを検討、報告した。

2. 脳脊髄液は体位および脳室圧に応じて短絡路内を断続的に流れており、その流量とパターンについて、Rickham-Holter, Pudenz 両シャント間での差異はみられなかった。

3. 坐位での流量は 0.1 ml/min～1.0 ml/min またはそれ以上、臥位での流量は 1.0 ml/min～0.01 ml/min またはそれ以下の間に分布しており、通常坐位の流量が臥

位より大きい。

4. シヤント設置後長期間を経過しても、それぞれの短絡路内の流量とパターンの基本的な変化はみられなかった。

本論文の要旨は、第38回日本脳神経外科学会総会（昭和54年10月、東京）において発表した。

文 献

- 1) CORKERY, J. J. & ZACHARY, R. B.: Increased resistance developing in Holter valves. *Lancet* 11: 1331-1333, 1967
- 2) Fox, J. L., McCULLOUGH, D. C. & GREEN, R. C.: Cerebrospinal fluid shunts: an experimental comparison of flow rates and pressure valves in various commercial systems. *J Neurosurg* 37: 700-705, 1972
- 3) Fox, J. L., McCULLOUGH, D. C. & GREEN, R. C.: Effect of cerebrospinal fluid shunts on intracranial pressure and on cerebrospinal fluid dynamics. 2. A new technique of pressure measurements: results and concepts. 2. A concept of hydrocephalus. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 36: 302-312, 1973
- 4) HARBERT, J., HADDAD, D. & McCULLOUGH, D. C.: Quantitation of cerebrospinal fluid shunt flow. *Radiology* 112: 379-387, 1974
- 5) MAEDA, T., MORI, H., HISADA, K. & KADOYA, S.: Evaluation of cerebrospinal fluid flow through a Pudenz 12 mm or a standard Rickham reservoir: Phantom experiments. *Invest Radio* 12: 555-558, 1977
- 6) 前田敏男, 角家 暁, 森 厚文, 久田欣一: 脳脊髄液短絡路内の流量評価法—流量と放射能クリアランスの関係—. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 20: 191-196, 1980
- 7) 松岡好美, 端 和夫, 河原崎篤, 大川直澄: 髄液短絡路装置の流量測定法. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 19: 909-915, 1979
- 8) PORTNOY, H. D., SCHULTE, R. R., Fox, J. L., CROISSANT, P. D. & TRIPP, L.: Anti-siphon and reversible occlusion valve for shunting in hydrocephalus and preventing post-shunt subdural hematomas. *J Neurosurg* 38: 729-738, 1973
- 9) RAYPORT, M. & REISS, J.: Hydrodynamic properties of certain shunt assemblies for the treatment of hydrocephalus. Part 2: Pressure flow characteristics of the Spitz-Holter, Pudenz-Heyer and Cordis-Hakim shunt systems. *J Neurosurg* 30: 455-467, 1969
- 10) RUDD, T. G., SCHURTLEFF, D. B., LOESER, J. D. & NELP, W. B.: Radionuclide assessment of cerebrospinal fluid shunt function in children. *J Nucl Med* 14: 683-686, 1973
- 11) YAMADA, S., DUCKER, T. B. & PEROT, P. L.: Dynamic changes of cerebrospinal fluid in upright and recumbent shunted experimental animals. *Childs Brain* 1: 187-192, 1975