

脳脊髄液短絡路の流量測定と通過障害に関する核医学的研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/8777

脳脊髄液短絡路の流量測定と通過障害に関する 核医学的研究

金沢大学核医学科 (主任: 久田欣一教授)

前 田 敏 男

(昭和54年3月15日)

本文の要旨は第2回世界核医学会で報告した。

Nulsen¹⁾が水頭症患者の脳室髄液を内頸静脈に誘導する治療法を報告して以来手術法や装置の改良工夫がなされ、今日では脳室-心房短絡術²⁾や脳室-腹腔短絡術³⁾が種々の水頭症の治療にさかんに施行されている。しかし長期間の術後経過中には種々の合併症が高頻度で生じることが知られている⁴⁾⁻¹⁷⁾。文献上の報告では脳室-心房短絡術後の44~47%、脳室-腹腔短絡術後の46~78%が何らかの原因で再手術をうけている⁶⁾¹¹⁾⁴¹⁾⁵¹⁾⁷⁾。

術後合併症のうち最も頻度が高いのは短絡路の通過障害であり、緊急の外科的対策が要求される場合が多い。通過障害が生じると一般には頭蓋内圧亢進症状を訴えるが、症状のはっきりしない例もある¹⁸⁾⁻²¹⁾。また頭蓋内圧亢進症状と同様な訴えは他の原因でも生じるため、日常外来で施行可能な信頼性の高い短絡路開通性検査が要求される。

皮下に設置されている短絡路の reservoir や flushing valve を指圧して通過障害を判定する方法は最も簡便であるが、判定が困難なこともある²⁰⁾²¹⁾。Woodford²⁰⁾は指圧で異常と判定した場合は全例通過障害を有していたが、正常と判定した場合にも通過障害は否定できないと報告している。頭部、胸部あるいは腹部単純X線写真は欠かすことのできない検査であるが、それから得られる情報は限られている²²⁾⁻²⁴⁾。CT スキャンが脳室拡大を示さない例は短絡路の作動は良好と考えられるが、脳室拡大を示す場合は通過性の評価は困難である²⁵⁾。サーモグラフィ²⁶⁾や超音波(ドップラー法)²⁷⁾の報告もあるが閉塞部位の診断ができない。infusion test も短絡路通過状態の評価に用いられているが外来診療検査としては不

向きである²⁰⁾²⁸⁾。造影剤を短絡路に注入してX線写真を撮る方法は、副作用の少ない水溶性造影剤が開発されたため今後有用な検査法となることが予想される²¹⁾²⁵⁾²⁹⁾。本法では通過障害の部位や原因の診断も可能であるといわれているが、短絡路内の脳脊髄液流の定量的測定は困難である。

核医学的方法としては、脊髄も膜下腔や脳室に注入した放射性医薬品の血中出現時間や³¹⁾⁻³³⁾、脳室からの減少³⁴⁾⁻³⁶⁾で通過状態を評価する方法があるが、検査終了までに長時間を要する事と、閉塞部位診断が困難である欠点を有する。一方、DiChiro³⁷⁾は短絡路内に放射性医薬品を注入して短絡路を撮像する方法を報告している。この方法は最近のガンマカメラの使用により短時間に信頼性の高い結果が得られることが確認されている³⁸⁾⁻⁴⁶⁾。

この研究の目的は放射性医薬品を短絡路の reservoir 内に注入し、短絡路の通過状態の診断と、さらに短絡路内の脳脊髄液の生理的状態での流量を定量的に短時間に測定する方法をファントム実験で確立し、臨床応用への可能性を検討することである。

材 料 と 方 法

I. ファントム実験材料

多種多様の短絡装置が実用化されているが、金沢大学医学部付属病院と金沢医科大学付属病院で使用している Pudenz 12mm reservoir²⁾ と standard Rickham reservoir⁴⁷⁾ について実験した。

Pudenz reservoir には逆流防止用の弁膜があり、この弁膜に流入口が4個ある。流出管はreservoir内に延長しており、小孔が7個ある。reservoirの容積

Radionuclide study on evaluation of the flow rate and patency of the cerebrospinal fluid shunt. **Toshio Maeda**, Department of Nuclear Medicine (Director: Prof. K. Hishada), School of Medicine, Kanazawa University.

は0.34 mlである(図1)。

Rickham reservoir には流入口と流出口の穴が各々1個あるが、逆流防止装置はない。reservoir の容積は0.13 mlである(図2)。

reservoir に注入する放射性医薬品は ^{99m}Tc -technetium pertechnetate (以下 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ と略す)を用いた。

短絡装置内を灌流するアルブミン溶液は、25%人血清アルブミン注射液を生理食塩水で希釈し25mg/dl から5,000mg/dl まで段階的濃度に調製した。

短絡路内の流量調節には Harvard Apparatus Company 製 2200 series infusion-withdrawal pump と 50 ml B-D Yale glass syringe を使用した。流量は0.0094 ml/分から0.94 ml/分まで段階的に変化した。

測定装置はガンマカメラ (Picker Dyna Camera 2C) を使用した。

II. ファントム実験方法

infusion pump で蒸留水を短絡装置内に一定速度で持続灌流し、50~100 μCi の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を 26 ゲージの注射針で reservoir 内に注入する。注入直後にガンマカメラの関心領域を reservoir 部に設定し同部の放射能の変化を time-activity 曲線として約 10 分間記録する。得られた time-activity 曲線より、reservoir 内の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ が半減する時間(放射能クリアラン

ス半減期)と持続灌流量(流量)の関係を求めた。

reservoir へ注入する $^{99m}\text{TcO}_4^-$ の液量、注入部位および 液中中のアルブミン濃度などの影響も検討した。

III. 臨床応用の対象

Pudenz 装置あるいは Rickham reservoir と Holter 弁による脳室-心房短絡路あるいは脳室-腹腔短絡路を有する患者を対象とした。1974年から1978年の5年間に施行した84例の検査のうち、time-activity 曲線が得られた78例について検討した(表1)。

IV. 臨床応用の方法

被検者の reservoir 部を触診で確認し、同部を剃髪し十分消毒する。検査直前に無菌的にミルクングした $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 液の0.05 ml(放射能は50~100 μCi で十分である)を経皮的に27ゲージの注射針で reservoir 内に注入する。注入直後にガンマカメラの検出器を reservoir 部が中心に位置するように固定し、放射能クリアランスをビデオテープレコーダ(VTR)かコンピュータに約10分間記録する。測定は臥位と坐位で行なう。

放射能クリアランスを記録したら、頭部、胸部あるいは腹部のシンチフォトを撮像する。坐位にしても末梢側に $^{99m}\text{TcO}_4^-$ が流れない場合には、27ゲージの針を付けた注射器で reservoir 部から脳脊髄液が吸引可能かどうかを検査する。吸引可能な場合は吸引した

Pudenz reservoir

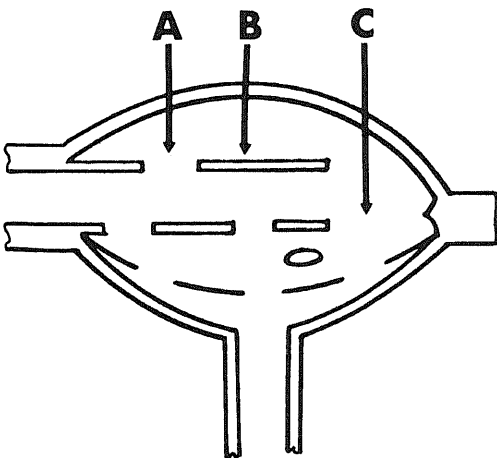


図1 A, B, C は $^{99m}\text{TcO}_4^-$ の注入部位

Rickham reservoir

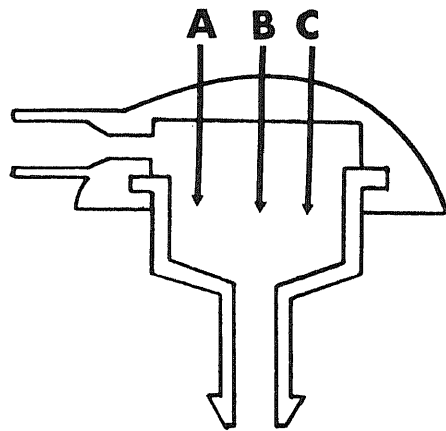


図2 A, B, C は $^{99m}\text{TcO}_4^-$ の注入部位

脳脊髄液を、吸引不可能な場合は静注用生理食塩水を 1.0 ml 再注入して、reservoir 部の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ が末梢側に洗い流されるかどうかを調べる。洗い流し操作後に頭部、胸部あるいは腹部のシンチフォトを再撮像する。

一連の測定が終了したら、VTR あるいはコンピュータから $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 注入直後の像を再生し、reservoir 部に関心領域を設定して 10 秒毎の time-activity 曲線を得る。この曲線を対数表示し、reservoir からの放射能クリアランス半減期 ($T_{1/2}$) を求め、後述のファントム実験で得た次式に代入し短絡路内の脳脊髄液流量 (F) を計算する。

$$\text{Pudenz reservoir : } \log_{10} F = -1.3 \log_{10} T_{1/2} + 0.087$$

$$\text{Rickham reservoir : } \log_{10} F = -1.8 \log_{10} T_{1/2} + 0.019$$

成 績

I. ファントム実験

流量と放射能クリアランス半減期の関係を表 2 と表 3 に示す (表 2, 3)。注入量は Pudenz reservoir では 0.05 ml と 0.1 ml, Rickham reservoir では 0.025 ml と 0.05 ml にして検討したが time-activity 曲線に影響を与えなかった。time-activity 曲線は流量が Pudenz reservoir では 0.047 ml / 分以上 (図 3), Rickham reservoir では 0.023 ml / 分以上の時

に 2 相性の指数関数を示した。

2 相性を示した time-activity 曲線の最初の相の放射能クリアランス半減期 ($T_{1/2}$) と流量 (F) の関係 (図 4, 図 5 の星印) はクリアランスの理論式 (図 4, 図 5 の直線 A) とほぼ一致した。理論式は $F = \lambda V = (0.693/T_{1/2}) \cdot V$ である³⁾。ここで λ はクリアランス曲線の傾きであり、 V は拡散容積である。つまり Pudenz reservoir では内容積が 0.34 ml であり、 $F = 0.693/T_{1/2} \times 0.34 \rightarrow \log_{10} F = -\log_{10} T_{1/2} - 0.63$ となり、Rickham reservoir では内容積が 0.13 ml であり、 $F = 0.693/T_{1/2} \times 0.13 \rightarrow \log_{10} F = -\log_{10} T_{1/2} - 1.0$ となる。クリアランスの第 1 相の持続時間は流量増加とともに短縮し、流量が Pudenz reservoir では 0.471 ml / 分以上, Rickham reservoir では 0.236 ml / 分以上になると第 1 相の半減期も極めて短くなり正確な測定はできなかった (表 2, 3)。

第 2 相の放射能クリアランス半減期と流量の関係は理論式と一致しなかった。Pudenz reservoir では $\log_{10} F = -1.3 \log_{10} T_{1/2} + 0.087$ (図 4 の直線 B) となり、実験的ばらつきは $-1.3 \log_{10} T_{1/2} - 0.016 \leq \log_{10} F \leq -1.3 \log_{10} T_{1/2} + 0.16$ となった。Rickham reservoir では $\log_{10} F = -1.8 \log_{10} T_{1/2} + 0.019$ (図 5 の直線 B) となり、実験的ばらつきは $-1.9 \log_{10} T_{1/2} - 0.12 \leq \log_{10} F \leq -$

表 1 検査対象 (検査回数)

短絡路の種類	Pudenz 装置		Rickham-Holter*		合計
	脳室-腹腔	脳室-心房	脳室-腹腔	脳室-心房	
先天性水頭症	7	3	4	1	15
後天性水頭症					
くも膜下出血後	9	1	9		19
他の脳血管障害後	4		4		8
髄膜炎後	9				9
脳膿瘍後	2				2
脳腫瘍	20	1	5		26
頭部外傷後			3		3
その他の疾患	2**				2
合計	53	5	25	1	84***

* Rickham reservoir に Holter valve を結合した装置

** 1 例は leukodystrophy, 他の 1 例は原因不明

*** このうち 6 例は患者の動きや記録装置の作動不良のため time-activity 曲線が得られなかったため検討の対象外とした。

$1.8 \log_{10} T_{1/2} + 0.076$ となった。

短絡装置内を灌流する液にアルブミンを加えると time-activity 曲線の第 1 相の持続時間が多少延長したが、第 2 相の放射能クリアランス半減期は影響をうけなかった(表 4)。アルブミン濃度を 100mg/dl とした時の、種々の流量における第 2 相のクリアランス半減期(表 5)は、蒸留水を流して得た値(表 2, 3)とよく一致した。しかし Rickham reservoir ではアル

ブミン濃度が 1,000mg/dl 以上、あるいは流量が 0.94 ml/分の時は $^{99m}\text{TcO}_4^-$ のほとんどすべてが第 1 相中に流れ去るため第 2 相の測定は困難であった。

臨床応用では reservoir 内に $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を注入してから測定開始までに多少の時間を費すため第 1 相は測定されないと考えられる。したがって臨床応用では第 2 相から得た F と $T_{1/2}$ の関係(図 4, 5 の直線 B)を用いて流量 F を求めることにした。

表 2 Pudenz reservoir における流量と放射能クリアランス半減期

Flow Rate (ml/min)	Injected Volume (ml)	Duration of First Segment (min)	Radioactivity Clearance Half-times at Each Injected Locations (min)					
			First Segment			Second Segment		
			A	B	C	A	B	C
0.0236 ±0.0018	0.05 0.10	16	19 18	20 21	20 21	(single exponential)		
0.0471 ±0.0034	0.05 0.10	3.0	6.7 5.2	7.5 5.2	7.0 6.5	13 11	15 12	16 12
0.094 ±0.007	0.05 0.10	1.0	3.3 3.3	2.8 2.8	3.2 3.0	6.2 8.2	6.7 7.7	7.8 7.5
0.236 ±0.018	0.05 0.10	0.7	2.0 1.5	1.5 1.3	1.8 1.8	4.2 3.0	3.0 3.7	3.3 3.5
0.471 ±0.038	0.05 0.10	very short	very short			1.9 2.3	1.9 2.3	2.2 2.3
0.94 ±0.07	0.05 0.10	very short	very short			1.2 1.0	1.3 1.4	1.5 1.5

A, B, C は $^{99m}\text{TcO}_4^-$ の reservoir への注入部位を意味する (図 1 参照)。

表 3 Rickham reservoir における流量と放射能クリアランス半減期

Flow Rate (ml/min)	Injected Volume (ml)	Duration of First Segment (min)	Radioactivity Clearance Half-times at Each Injected Location (min)					
			First Segment			Second Segment		
			A	B	C	A	B	C
0.0094 ±0.0007	0.025 0.050	16	13.8 11.0	12.1 15.1	13.7 14.3	(single exponential)		
0.0236 ±0.0018	0.025 0.050	2.5	4.0 3.7	4.0 4.2	3.7 3.5	7.0 7.8	8.8 9.2	8.7 7.5
0.0471 ±0.0034	0.025 0.050	1.7	2.0 2.0	2.0 2.0	2.6 2.2	5.5 6.0	5.2 5.3	5.8 5.7
0.094 ±0.007	0.025 0.050	0.8	1.3 1.2	1.2 1.0	1.3 1.2	3.3 3.2	3.8 4.0	4.3 3.5
0.236 ±0.018	0.025 0.050	0.7	very short			2.4 2.3	2.7 2.3	2.4 2.2
0.471 ±0.038	0.025 0.050	0.3	very short			1.5 1.7	1.7 1.7	1.5 1.5
0.94 ±0.07	0.025 0.050	very short	very short			1.0 1.1	1.1 1.0	1.0 1.1

A, B, C は $^{99m}\text{TcO}_4^-$ の reservoir への注入部位を示す (図 2 参照)

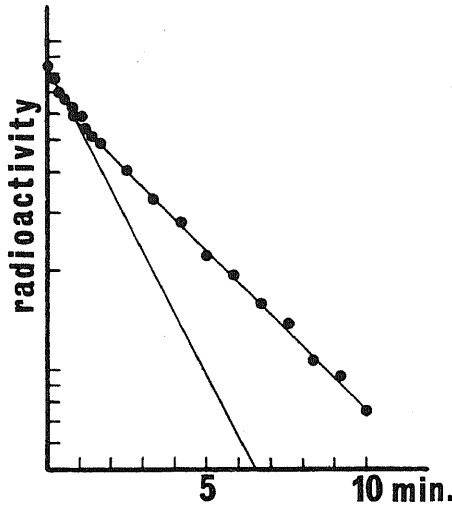


図3 time activity 曲線の2相性
 Pudenz reservoir, $F=0.236$ ml/分, 注入液量 0.10 ml/分, 注入部位は図1のA, 第1相の $T_{1/2}=1.5$ 分, 第2相の $T_{1/2}=3.0$ 分, 第1相の持続時間は約0.7分

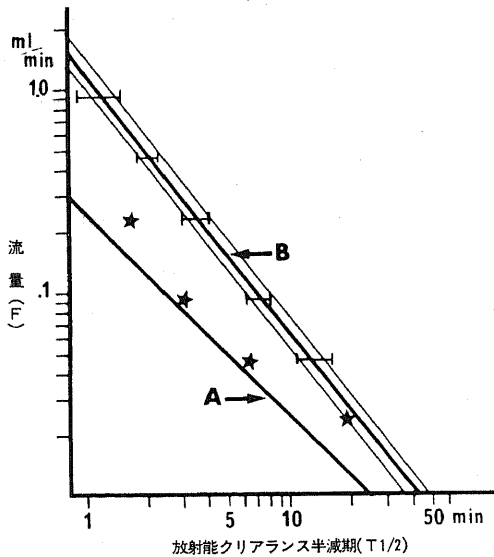


図4 Pudenz reservoir の流量と放射能クリアランス半減期の関係

直線Aはクリアランス理論式 ($F = \frac{0.693}{T_{1/2}} V$; v は 0.34 ml) の値
 星印はクリアランス曲線の第1相の $T_{1/2}$ の平均値
 直線Bはクリアランス曲線の第2相の $T_{1/2}$ であり $\log_{10} F = -1.3 \log_{10} T_{1/2} + 0.087$ の関係を示す

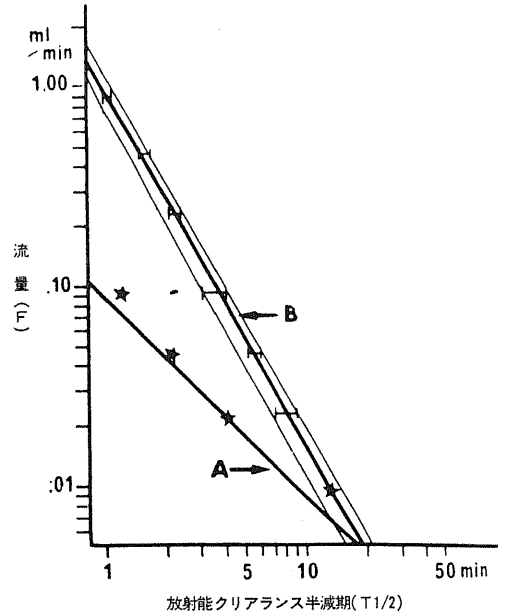


図5 Rickham reservoir の流量と放射能クリアランス半減期の関係

直線Aはクリアランス理論式 ($F = \frac{0.693}{T_{1/2}} V$; v は 0.13 ml) の値
 星印はクリアランス曲線の第1相の $T_{1/2}$ の平均値
 直線Bはクリアランス曲線の第2相の $T_{1/2}$ であり $\log_{10} F = -1.8 \log_{10} T_{1/2} + 0.019$ の関係を示す

表4 灌流液のアルブミン濃度と第2相の放射能クリアランス半減期 (流量は 0.236 ml/分)

液中のアルブミン濃度 mg/dl	放射能クリアランス半減期(分)	
	Pudenz reservoir	Rickham reservoir
0	3.3	2.2
25	3.7	2.3
50	3.2	2.3
100	3.3	2.3
250	3.2	2.0
500	3.5	2.1
1,000	3.2	2.0*
5,000	3.3	2.2*

* Rickham reservoir ではアルブミン濃度が $1,000$ mg/dl 以上になると reservoir 内の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ は第1相中にほとんど流れ去るため第2相の放射能クリアランス半減期の測定は困難であった。

II. 臨床応用の結果

78例の結果を表6に示す(表6). 乳児や重症患者では臥位の測定しか施行しなかった.

1. 短絡路機能良好例

1) シンチフォト所見

短絡路の通過障害のない例では, reservoir内の^{99m}TcO₄⁻がすみやかに末梢側に流れた(図6, 7のa). 注入10分後のシンチフォトは脳室-心房短絡路を有する例では血中に入った^{99m}TcO₄⁻により軟部組織を描画し(図6のb), 脳室-腹腔短絡路を有する例では腹腔内にび慢性に拡散した^{99m}TcO₄⁻を描画した(図7のb).

2) 同一体位での流量の変化

time-activity 曲線は指数関数的な減少を示した(図6, 7のc).

臥位54回, 坐位38回の合計92回測定した結果を表7に示す(表7). time-activity 曲線が1相性の指数関数を示したのは65回(71%)あった. このうち14例は臥位での流量は0.01 ml/分以下であったが, 全例坐位では0.10 ml/分以上の流れを示した. 坐位すると瞬間に, あるいは極めて速く^{99m}TcO₄⁻が流れ去り, time-activity 曲線が2~3分以内に back ground 値までに減少した例も1相性のパターンとして分類した. 多相性の指数関数を示したのは27例(29%)あった. 図8にみられるように第1相の流量が第2相よりも少ない例は臥位で10例あり, そのうち1例以外は第1相の流量は0.01 ml/分以下であった. 第2相の流量が第1相よりも少ない例は臥位で7例, 坐位で10例あった.

これらの結果は同一体位でも短絡路内の脳脊髄液流量の変化する例が存在することを示している.

3) 体位による流量の差

臥位と坐位の検査を行なった38例で体位による流量の変化を検討した(図9). 多相性の流量を示した例は最大流量で比較した. 38例中35例の流量は坐位のほうが大であった. 他の3例は臥位と坐位で大きな差は示さなかった. 臥位の流量は症例により0.01 ml/分以下から0.66 ml/分までばらついており一定の傾向は認められなかった. 一方坐位での流量は全例0.10 ml/分以上を示した. 特に14例は坐位の最大流量は1.0 ml/分以上を示した.

これらの結果は, 短絡路内の脳脊髄液流量は体位により変化し, 一般に坐位のほうが流量が多いことを示

表5 流量と第2相の放射能クリアランス半減期(灌流液のアルブミン濃度は100mg/dl)

流量 ml/分	放射能クリアランス半減期(分)	
	Pudenz reservoir	Rickham reservoir
0.0094		15.0
0.0236	18	8.3
0.0471	10	5.7
0.094	7.5	4.2
0.236	3.3	2.3
0.471	2.2	1.3
0.94	1.3	測定不能*

ここで得られた放射能クリアランス半減期は灌流液が蒸留水である表2, 3の結果とほぼ一致している.

* 注入した^{99m}TcO₄⁻は第1相中にほとんど流れ去るため第2相の測定は困難であった.

表6 検査結果(検査回数)

短絡路機能障害	なし		あり		合計
	臥位の み	臥位と 坐位	臥位の み	臥位と 坐位	
Pudenz reservoir					
脳室-腹腔短絡路	12	20	9	10	51
脳室-心房短絡路	1	3		1	5
Rickham reservoir + Holter valve					
脳室-腹腔短絡路	3	14	3	1	21
脳室-心房短絡路		1			1
合計	16	38	12	12	78

している。

症例数が少ないので短絡装置や、脳室心房短絡路と脳室腹腔短絡路での比較検討は行なわなかった。

2. 短絡路機能障害例

短絡路機能障害例は24例あった(表8)。

1) 中枢側閉塞(脳室腹腔短絡路3例)

reservoirよりも脳室側での閉塞は3例あった。いずれも重症のため臥位の検査しか行なわなかった。臥位での流量は $0.01 \text{ ml}/\text{分}$ 以下であり、reservoirか

ら脳脊髄液は吸引されず、生理食塩水の再注入による洗い流し操作後のシンチフォトは腹腔を良好に描画した。

1例はくも膜下出血後の患者であり、検査後reservoirの指圧をくり返し行なうことにより再開通したが、他の2例は脳腫瘍患者であった。

2) 腹腔側閉塞(脳室腹腔短絡路の5例)

reservoirよりも腹腔側での閉塞は5例あった。臥位での流量は $0.01 \text{ ml}/\text{分}$ 以下であり、3例は坐位の

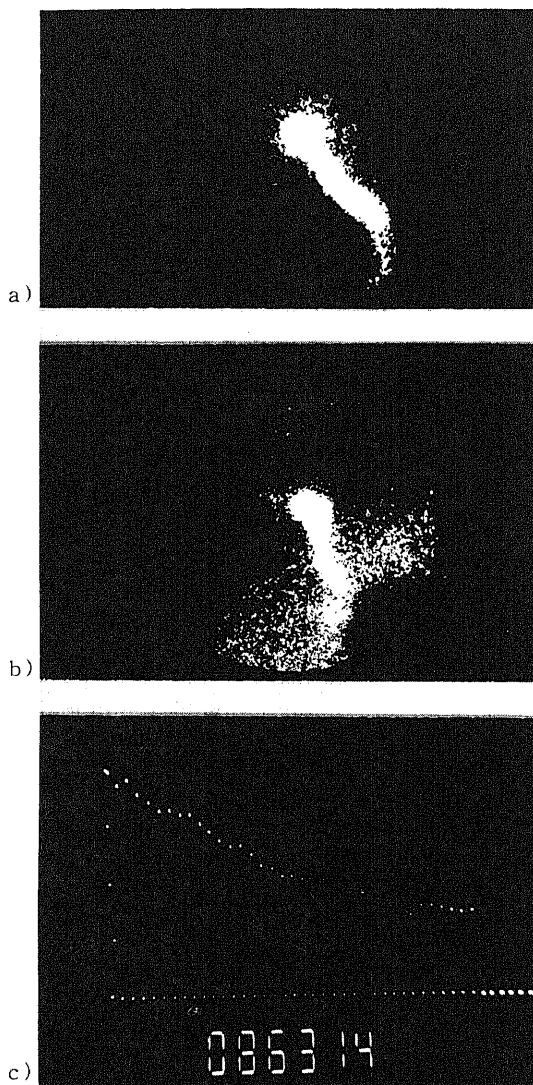


図6 脳室-心房短絡路機能良好例
a) 注入直後の頭部シンチフォト
b) 10分後の頭部シンチフォト
c) reservoir部のtime-activity曲線

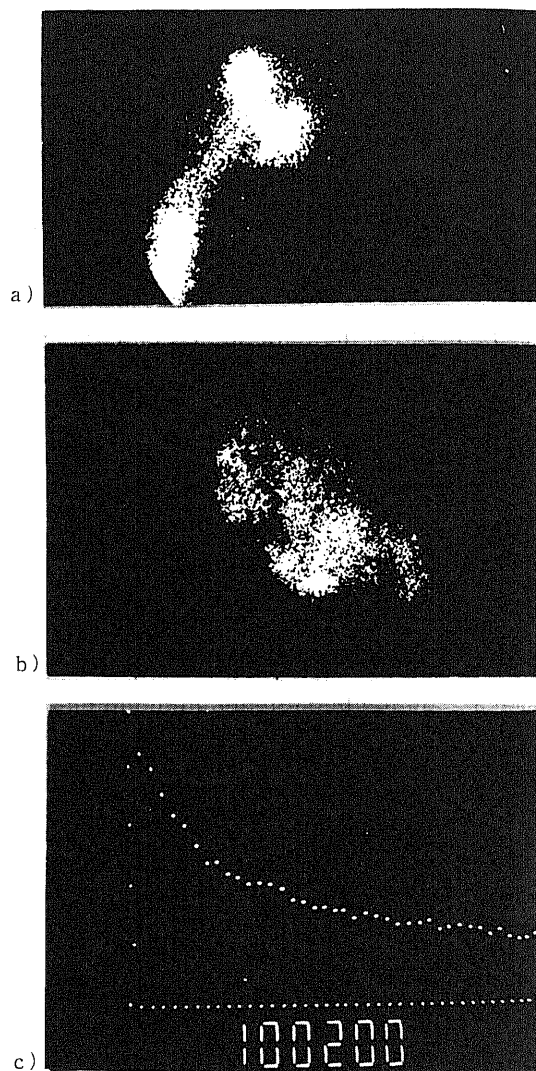


図7 脳室-腹腔短絡路機能良好例
a) 注入直後の頭部シンチフォト
b) 10分後の腹部シンチフォト
c) reservoir部のtime-activity曲線

表7 短絡路機能良好例の同一体位での流量

流量 (F ml/分)	検査回数	
	臥位	坐位
1相性クリアランス		
$F \leq 0.01$	14*	0
$0.01 < F < 1.0$	23	19
$1.0 \leq F$	0	9
多相性クリアランス		
第1相のF < 第2相のF	10**	0
第1相のF > 第2相のF	7	10
合計	54	38

* この14例は全例坐位で0.1ml/分以上の良好な流れを示した。

** この10例9例の第1相の流量は0.01ml/分以下であった。

検査も行なったが流量は0.01 ml / 分以下であった。reservoirからの脳脊髄液吸引は良好であったが、洗い流し操作後のシンチフォトは腹腔を描画せず脳室を描画した(図10)。Pudenz reservoirは逆流防止弁を有するにもかかわらずこのような例では脳室を描画した。

3例は短絡路再建術をうけ、他の2例は臨床状態や他の検査によりshunt independentな停止性水頭症と診断された。

3) 腹腔端での拡散障害(脳室腹腔短絡路の5例)
腹腔端で $^{99m}\text{TcO}_4^-$ の拡散障害を示した例が5例あった。このうち3例は臥位あるいは坐位で脳脊髄液の流れを示したが、腹部のシンチフォトは $^{99m}\text{TcO}_4^-$ の異常貯溜を示した。他の2例は臥位の検査しかできず、臥位の流量は0.01 ml / 分以下を示したため、reservoir部の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を洗い流した後腹部のシンチフォトを撮像したところ腹腔端に異常貯溜を示し

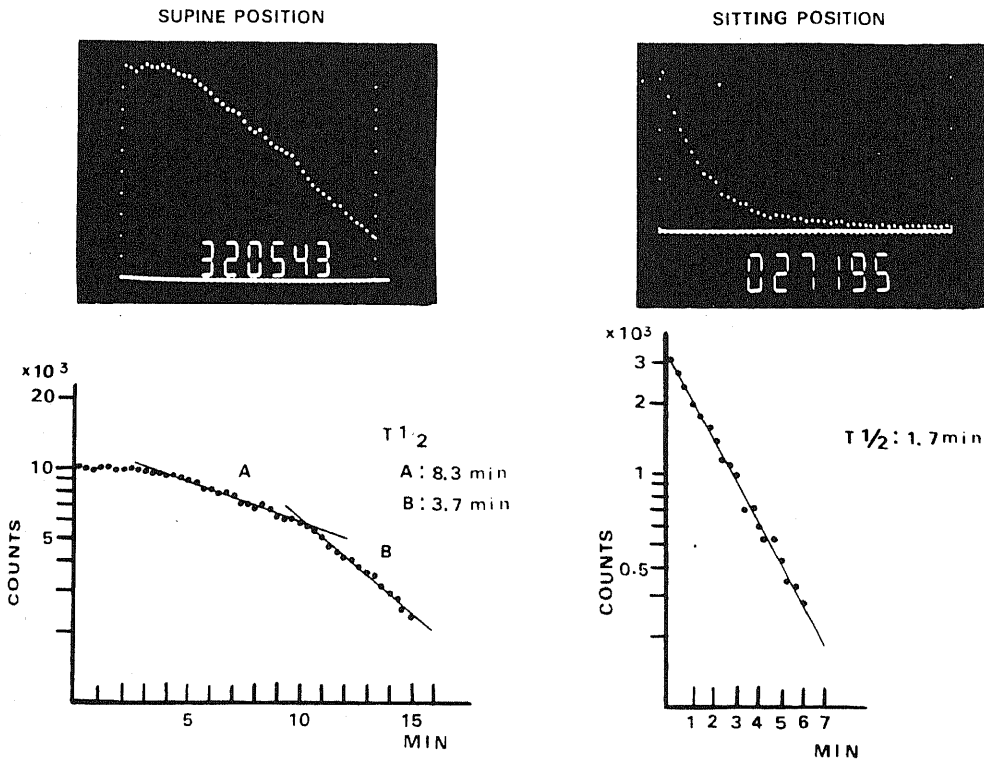


図8 Rickham reservoir と Holter valve による脳室-腹腔短絡路の機能良好例

臥位では3相性の流れを示している。

流量は第1相が0.01ml/分以下、第2相(A)が0.023ml/分、第3相が0.099ml/分である
坐位では1相性の流れを示しており流量は0.40ml/分である。

上段は time-activity 曲線であり、下段は、それを片対数表示したものである。

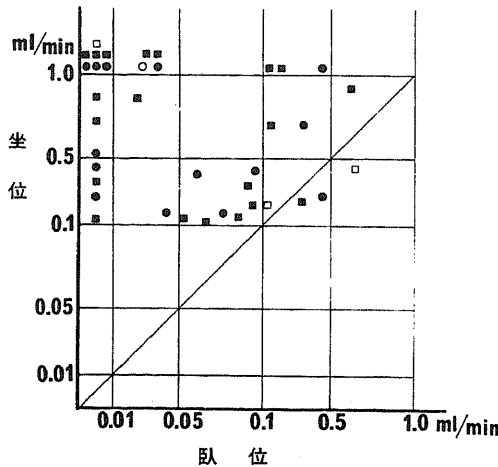


図9 臥位と坐位の流量比較
多相性のクリアランスを示した例は最大流量値で比較した。

■, □: Pudenz reservoir;
●, ○: Rickham reservoir;
■, ●: 脳室-腹腔短絡路;
□, ○: 脳室-心房短絡路

表 8 短絡路機能障害例

症 例	年 令	原因疾患	短絡路の種類	流 量 (ml/分)		脳脊髄液 吸引結果	洗い流し 操作結果	判 定
				臥 位	坐 位			
M.S.	63	くも膜下出血	P(V-P)	<0.01		吸引不可能	全例が腹腔をび慢性に描画した。	中枢側閉塞
K.T.	52	脳腫瘍	P(V-P)	<0.01		吸引不可能		
K.D.	56	脳腫瘍	P(V-P)	<0.01		吸引不可能		
H.G.*	1	先天性水頭症	R-H(V-P)	<0.01		正 常	全例が脳室を描画し、腹腔は描画しなかった。	腹腔側閉塞
S.A.*	5	髄膜炎	P(V-P)	<0.01		正 常		
M.N.*	41	くも膜下出血	P(V-P)	<0.01	<0.01	正 常		
G.H.**	43	くも膜下出血	P(V-P)	<0.01	<0.01	正 常		
S.N.**	29	脳腫瘍	P(V-P)	<0.01	<0.01	正 常		
K.N.*	8	先天性水頭症	P(V-P)	<0.01		正 常	全例が腹腔端に限局した異常RI貯溜を示した。	腹腔端拡散障害
同上*	8	同上	P(V-P)	<0.01	0→0.52	正 常		
K.M.*	1	髄膜炎	P(V-P)	0→0.06		正 常		
同上*	1	同上	P(V-P)	<0.01		正 常		
K.D.*	56	脳腫瘍	P(V-P)	0.50		正 常		
R.O.*	6	先天性水頭症	P(V-P)	0→0.19	>1.0	正 常	心房端に異常RI貯溜	心房端通過障害
H.I.*	3	先天性水頭症	R-H(V-P)	<0.01		正 常	後頭部でRI漏出	短絡路断裂
M.N.	3ヵ月	先天性水頭症	R-H(V-P)	<0.01		正 常	全例が腹腔をび慢性に描画した。	短絡路の閉塞はない。
H.Y.*	2ヵ月	先天性水頭症	P(V-P)	<0.01		正 常		
K.M.*	1	髄膜炎	P(V-P)	<0.01	<0.01	正 常		
M.H.*	13	脳腫瘍	P(V-P)	<0.01	<0.01	正 常		
K.K.**	12	頭部外傷	R-H(V-P)	<0.01	<0.01	正 常		
S.Y.**	25	原因不明	P(V-P)	<0.01	<0.01	正 常		
S.N.**	29	脳腫瘍	P(V-P)	<0.01	<0.01	正 常		
同上**	29	同上	同上	<0.01	<0.01	正 常		
同上**	29	同上	同上	<0.01	<0.01	正 常		

短絡路の種類項目でPはPudenz reservoir, R-HはRickham reservoirにHolter valveを結合した装置。V-Pは脳室-腹腔短絡路, V-Aは脳室-心房短絡路を意味する。流量の項目で<0.01は0.01ml/分以下, >1.0は1.0ml/分以上を意味する。

* 印の症例は検査後短絡路の再建術をうけた。

** 印の症例はshunt independentの状態と診断された。

た(図11)。

4) 心房端通過障害(脳室心房短絡路の1例)

この症例は臥位で間歇的な流れを示したが坐位になるとreservoir内の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ は瞬間的に流れ去った(流量は1.0 ml/分以上)。シンチフォトは軟部組織を描画したが、さらに心房端に異常貯溜像を示し同部での通過障害を示唆した(図12)。CT スキャンは脳室拡大を示し、頭蓋内圧亢進症状を訴えたため脳室腹腔短絡路置換術をうけ症状軽快を認めた。術後の短絡路機能測定は正常であった。

5) 短絡路の破損(脳室腹腔短絡路の1例)

Rickham reservoirとHolter valveの短絡装置を有する1例は、臥位で流量が0.01 ml/分以下であり、洗い流し後のシンチフォトは後頭部での $^{99m}\text{TcO}_4^-$ の皮下漏出を示唆する異常貯溜を示し、それよりも末梢を描画しなかった(図13)。後頭部での短絡

路の結合不良は手術にて修復された。

6) 非閉塞性の通過障害(脳室腹腔短絡路の9例)
短絡路の閉塞や破損あるいは末梢端での拡散障害がないにもかかわらず流量が0.01 ml/分以下の例が9例あった。

1例(症例MN)は脳室炎をおこしており死亡した。3例(症例HY, KM, MH)は頭蓋内圧亢進症状があり、短絡路の再建術にて症状が軽快した。原因は短絡路の弁圧が高すぎたためと考えられる。

他の5例は頭蓋内圧亢進症状はなく、他の検査成績との総合判定はshunt independentな状態と診断された。同一患者に3回検査を行なった例があるため、患者数は3人である。

考 案

1. 流量測定のためのファントム実験

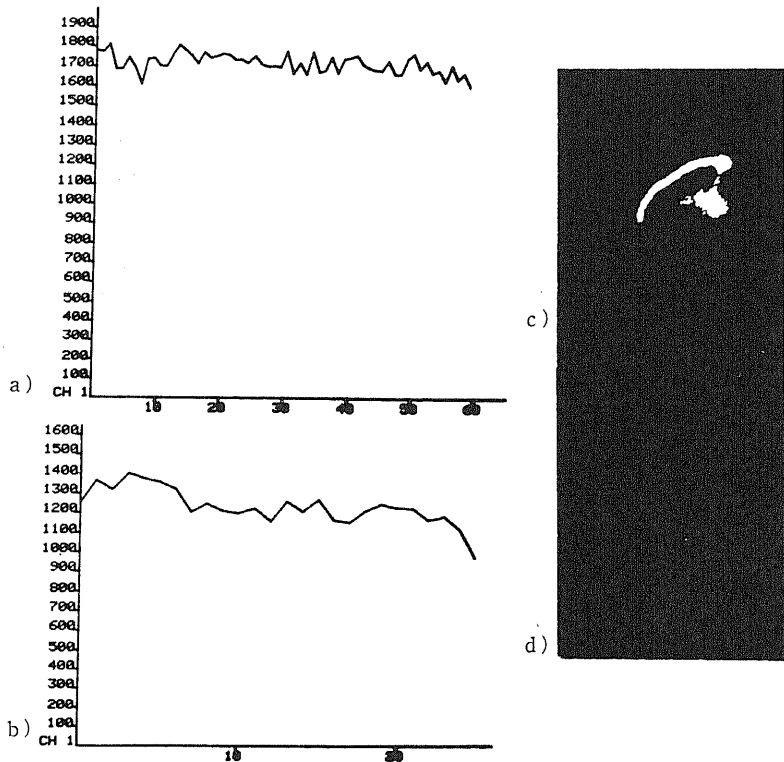


図10 Pudenz 装置による脳室-腹腔短絡路の末梢側閉塞

a), b) 臥位と坐位の time-activity 曲線, クリアランス半減期は50分以上であり流量は0.01ml/分以下である。

c), d) 洗い流し操作後の頭部と腹部のシンチフォト, $^{99m}\text{TcO}_4^-$ は一部 reservoir より末梢を描画するが途中で止まっている。さらに側脳室への逆流も示す。

reservoir に注入した $^{99m}\text{TcO}_4$ が脳室に逆流すると time-activity 曲線に影響を与える。サイフォンの原理を応用した予備実験では、注入液量が 0.05 ml の場合は逆流防止装置のない Rickham reservoir でも逆流は生じなかった⁴⁸⁾。

今回使用した $^{99m}\text{TcO}_4$ の物理的半減期は 6 時間であることから、約 10 分間の測定時間中の放射能減衰は無視できる。

一定の容積 (V) の reservoir 内の液の流量 (F) は、reservoir 内の tracer が半分に減少する時間 ($T_{1/2}$) を得れば理論的に $F = (0.693/T_{1/2})V$ で計算できる³⁸⁾。しかしこの式が適用できる条件は、tracer が常に十分混合されていなければならない。 $^{99m}\text{TcO}_4$ の reservoir からのクリアランスは、Touya ら⁴⁹⁾ の報告でも示されているように、流量が一定でも 2 相性の

指数関数を示す。第 1 相の $T_{1/2}$ と F の関係は理論式と比較的よく一致する。しかし第 2 相の $T_{1/2}$ は第 1 相のものよりも大きくなり、理論式に代入すると実際の流量よりも低値を示す。 $^{99m}\text{TcO}_4$ の短絡装置への吸着は無視できるといわれているため⁴⁹⁾⁵⁰⁾、この 2 相性のクリアランスの原因は reservoir 内での $^{99m}\text{TcO}_4$ の混合に問題があるためと考えられる。

脳脊髄液短絡装置のような細い管の流れは Reynolds 数が十分小さいため層流と仮定できる⁵¹⁾。ところが reservoir 部は急激に内径が増大し、流れの方向も急激な角度で変化するため、流線は複雑に変化することが予想され、このような部位では流速が大きいときに渦領域が生じるといわれている⁵¹⁾⁵²⁾。

細い針から急速に reservoir 内に注入された $^{99m}\text{TcO}_4$ は注入時に十分混合するためクリアランスの第 1 相は理論式とよく一致するのであろう⁴⁹⁾。reservoir への注入部位がクリアランス曲線に影響を与えなかったことも注入時の混合が十分なされているためと考えられる。しかし注入された $^{99m}\text{TcO}_4$ はしばらく時間がたつと、reservoir 内の流線にしたがって再分布するため混合が不十分になり、クリアランスの第 2 相を形成するのであろう。層流のおそい部分や渦領域に分布した $^{99m}\text{TcO}_4$ は reservoir 内に長くとどまるため第 2 相のクリアランス半減期が理論式よりも大きくなると考えられる。流量が Pudenz reservoir で 0.023 ml/分、Rickham reservoir で 0.0094 ml/分の時のクリアランス曲線が 1 相性であったのは、このようなおそい流れでは渦領域がないか、あるいは極めて小さく、注入時に十分混合された影響が長く残っているためと考えられる。Pudenz reservoir の第 2 相の $T_{1/2}$ と F の関係が理論式と比較的平行関係を示したのは、この reservoir には多数の流入口と流出口があるため、流線の変化の程度が流量の大小に影響されにくいと考えられる。一方、Rickham reservoir は流入口と流出口が各々 1 個の単純な構造であるため、渦領域は流量とともに増大するため、渦領域にとり残される $^{99m}\text{TcO}_4$ の量も多くなるのであろう。したがって流量増大とともにクリアランス曲線の第 2 相の $T_{1/2}$ は理論値よりも次第に大きくなり、 $T_{1/2}$ と F の関係が理論式と平行にならないと考えられる。

臨床応用に際して、Touya ら⁴⁹⁾ はクリアランス曲線の第 1 相の $T_{1/2}$ を理論式に代入して計算することを勧めているが、関心領域を reservoir 部のみに設定した今回の実験では第 1 相の持続時間は流量とともに変化し、一般に短時間であることがわかった。臨床

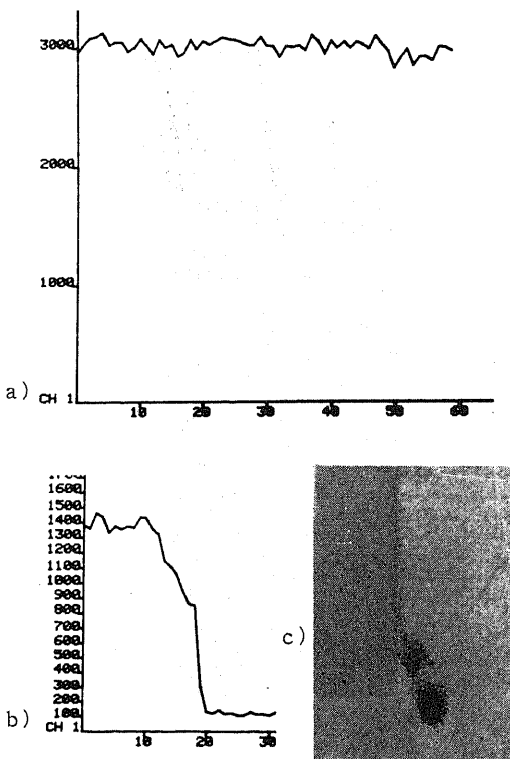
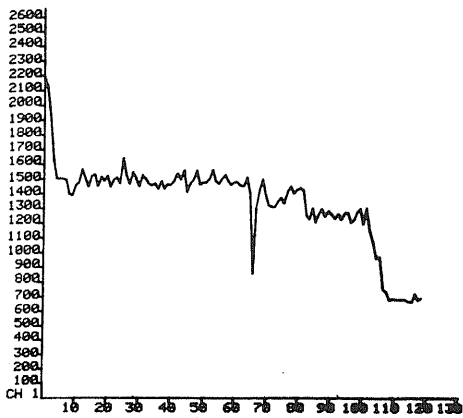


図11 Pudenz 装置による脳室-腹腔短絡路の腹腔内拡散障害例

a) b) 臥位と坐位の time-activity 曲線: 臥位での流量は 0.01 ml/分以下であったが坐位での流量は最初 0.01 ml/分以下であり、その後 0.52 ml/分となった。途中で検査は中止した。

c) 腹部のシンチフォトは腹腔内での $^{99m}\text{TcO}_4$ の拡散障害を示す。



a)



b)

図12 Pudenz 装置による脳室-心房短絡路の心房端での通過障害

- a) 臥位の time-activity 曲線は間歇的な流れを示す。坐位にしたところ瞬間的に $^{99m}\text{TcO}_4^-$ は reservoir より流出した。
- b) 坐位でのシンチフォトは心房端に hot spot を示した。

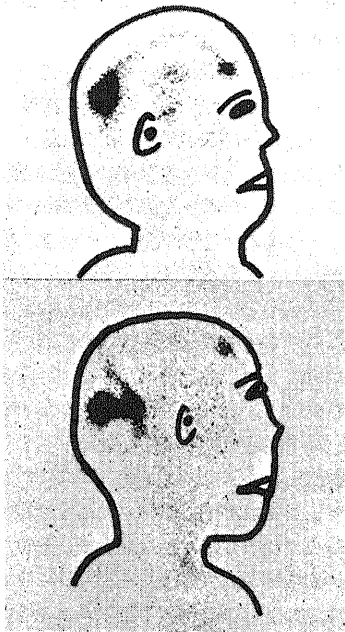


図13 Rickham reservoir と Holter valve による脳室-腹腔短絡路

洗い流し操作後のシンチフォトは頭頂後頭部で異常な集積と脳室逆流を示す。側面像で RI の漏れがはっきりしている。reservoir は前頭部にある

検査では $^{99m}\text{TcO}_4^-$ の注入から測定開始に多少の時間を要するため第1相の記録は困難である。したがって臨床応用では第2相の関係式を用いるのが妥当と考えられる。

Habert ら⁵⁰⁾は理論式の V に実験的に求めた拡散容積を代入して計算することを勧めている。T_{1/2} と F の関係が理論式と平行になる場合のみ彼らの計算方法は成立する。Pudenz 装置に関しては彼らの方法で計算した値と、今回のクリアランス曲線の第2相より得た式の値はよく一致する。しかし Rickham reservoir では彼らの方法は使用できない。このことに関してはサイフォンの原理を応用した予備実験⁴⁹⁾でも今回と同様な結果を得た。

アルブミンを灌流液に加えた実験結果では、Rickham reservoir でアルブミン濃度が 1.000mg/dl 以上の場合以外では、臨床応用に問題を生じないことがわかった。

2. 臨床応用

1) 短絡路機能良好例

reservoir への $^{99m}\text{TcO}_4^-$ の注入液量は 0.05 ml と少ないため、本法では生理的状態の機能評価ができる。短絡路の通過状態が良好な例は、注入 10 分後のシンチフォトが脳室心房短絡路では軟部組織を、脳室腹腔短絡路では慢性に腹腔を描画するため診断は容易である⁴²⁾⁴⁴⁾。

短絡路内の流量が同一体位でも変化する例がある事や、流量は坐位のほうが臥位よりも大である事、さらに脳脊髄液産生量(正常小児では 0.35 ± 0.02 ml/分、交通性水頭症の小児では 0.30 ± 0.02 ml/分といわれている⁵³⁾)よりも大きな流量を示す例が存在することは次のように考えられる。

Rayportら⁵⁴⁾やFoxら⁵⁵⁾は短絡路内の脳脊髄液流量は Poiseuille の法則にしたがうと報告している。つまり短絡路の管の長さ (l)、管の半径 (r)、流れる液の粘性係数 (n) および短絡路両端の圧差 ΔP から $F = \pi r^4 / (8nl) \Delta P$ の式によって流量 (F) が決まる。一方、Portnoyら⁵⁶⁾は生体内で作動している脳脊髄液短絡路では、脳室圧 (IVP)、短絡路の中枢端と末梢端の落差による水圧 (HP)、心房圧 (AP) あるいは腹腔内圧 (PP)、および短絡装置の弁の closing pressure (CP) などを考慮すると、 $\Delta P = IVP + HP - [(AP \text{ or } PP) + CP]$ の関係があると報告している。臥位から坐位に体位を変換すると、HPが増大し、 ΔP が増大し、流量 F が増加する。しかし体位変換により AP あるいは PP も変化するため流量の増加率を式から単純に計算することは困難である。臥位から坐位になると HP は極めて大きくなる事が予想できる。Rayportら⁵⁴⁾やFoxら⁵⁵⁾は in vitro 実験で ΔP が $150\text{mmH}_2\text{O}$ 以上では Pudenz 装置、及び Rickham reservoir に Holter valve を付けた装置での流量は 1.0 ml/分以上になり得ることを報告している。一方、Foxら⁵⁷⁾、Portnoyら⁵⁶⁾および McCulloughら⁵⁸⁾は、短絡路を有する患者の IVP は坐位の状態を続けると次第に低下し陰圧になると報告している。このことは坐位を保っていると ΔP が次第に減少し、流量 (F) が減少することを意味している。逆に坐位から臥位になると HP はほとんど $0\text{mmH}_2\text{O}$ になるために低下していた IVP も改善するであろう。臥位で $F = 0$ ml/分の時は (AP あるいは PP) + CP が IVP よりも高いことが考えられる。短絡路の機能良好な症例は自力歩行にて検査室を訪ずれ、臥位になってから数分後に検査が開始されるのでこのような状態は十分あり得る。さらに臥位の状態を続けると脳室内に脳脊髄液が再貯溜することにより IVP が増加し、(AP あるいは PP) + CP よりも高くなると流量が生じるのであろう。また AP あるいは PP は患者の呼吸や緊張状態でも変化することが予想される⁵⁹⁾。以上の点を考慮すると種々の流量値や流量パターンが観察されることが理解できる。

坐位にしても最大流量が 0.1 ml/分位しかない例は正常の脳脊髄液産生量よりも少ないが、この原因としては i) 検査前に低下していた IVP が臥位での測定時

間に十分回復しなかった。ii) 水頭症患者では脳室上皮からの脳脊髄液吸収がある⁶⁰⁾、iii) 短絡路設置により脳室が小さくなり大脳半球部のくも膜下腔の再開通が生じ一部の脳脊髄液が穹状部のくも膜絨毛より吸収されている¹⁸⁾³⁶⁾などが考えられる。

2) 短絡路機能障害例

脳脊髄液短絡路の通過障害は種々の原因で生じると報告されている^{4)~17)}。

中枢側閉塞の主な原因としては血栓、脈絡叢のからみつき、狭小化した脳室内での埋没あるいは脳組織内へのカテーテル先端の侵入などが報告されている^{4)6)~8)11)14)22)~24)36)}。

末梢端閉塞の主な原因としては、血栓や挫滅組織片、フィブリンあるいは細菌コロニーによる閉塞、成長によるカテーテル先端の抜け、大網や腹膜のからみつきなどが報告されている^{5)~7)9)10)12)~14)22)~25)}。

腹腔端での拡散障害は、嚢胞形成や腹腔からの抜けなどで生じる¹³⁾²³⁾²⁵⁾⁴⁵⁾。

短絡路途中での管のはずれや屈曲、あるいは弁装置への挫滅組織の塞栓あるいは不当に高い弁圧なども通過障害の原因として報告されている^{7)9)13)22)~25)36)}。

短絡路の通過障害があっても臨床状態の良好な例には shunt independent 停止性水頭症や、代償性水頭症の報告もある¹⁸⁾¹⁹⁾。

これらの診断に対する補助的検査法として短絡路機能検査は重要であり、CT スキャンや脳槽シンチグラフィあるいは infusion test などと併用すれば通過障害の有無だけでなく、さらに通過障害の部位や種類も診断できる。

reservoir に注入する $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ の液量を多くすれば閉塞の有無は直ちにシンチフォトで判定できるが、弁圧が高すぎる例のような非閉塞性機能障害を正常例と鑑別できない^{39)~41)45)46)}。今回のように注入液量が 0.05 ml と少ない方法は生理的状态で検査ができる利点がある。しかし臥位での検査のみでは機能障害の有無は判定できないので、坐位の検査が重要である。末梢端異常貯溜例は time-activity 曲線が減少を示すこともあるので必ずシンチフォトで異常の有無を確認する必要がある。臥位の検査しかできない例や、坐位でも流量を示さない例では洗い流し操作後のシンチフォトが診断に役立つ。しかし中枢側閉塞はシンチフォトからは判定できないため、疑わしい場合は必ず reservoir からの脳脊髄液の吸引が可能かを検討することが大切である。

3) 安全性

$^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ は発熱試験に合格しており pyrogen free

であるため、無菌的取扱いに注意すれば安全である。被曝線量は $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を100 μCi 使用した場合、全身が約1.2mrads、大腸が約10mradsと極めて少ない³⁸⁾。

reservoirに放射性医薬品を注入する方法での副作用は報告されておらず、安全であるといわれている³⁷⁾⁻⁴⁶⁾⁴⁹⁾⁵⁰⁾。

結 論

脳脊髄液短絡路のreservoir内に注入した $^{99m}\text{TcO}_4^-$ のクリアランスとシンチフォトから、短絡路内の脳脊髄液の流量を定量的に測定し、さらに通過障害も診断する方法についてファントム実験と臨床例で検討し以下の成績を得た。

1. ファントム実験ではreservoirからの放射能クリアランスは2相性を示した。第1相の持続時間は短いため、臨床応用では記録が困難であると考えた。

2. ファントム実験の第2相の放射能クリアランス半減期($T_{1/2}$)と流量(F)については次の関係を得た。

Pudenz reservoir : $\log_{10}F = -1.3 \log_{10}T_{1/2} + 0.087$.

Rickham reservoir : $\log_{10}F = -1.8 \log_{10}T_{1/2} + 0.019$

3. 注入量は0.05 mlが適当であり、灌流液中のアルブミン濃度が1,000mg/dl以下では約0.01 ml/分から1.0 ml/分までの流量を定量的に測定できる。

4. 臨床例では、短絡路の機能が良好な例でも短絡路内の脳脊髄液流量は時間や体位によって変化を示すことが確認できた。

5. 短絡路の機能良好例の短絡路内の脳脊髄液流量は、臥位では種々の値を示したが、坐位では全例が0.10 ml/分以上を示し、一般に臥位よりも坐位の流量は大であった。

6. time-activity 曲線とシンチフォト所見にreservoirからの脳脊髄液吸引や洗い流し操作を組合せれば、中枢側閉塞、末梢側閉塞、末梢端での拡散あるいは吸収障害、短絡路の破損部位などの診断ができた。

7. 他の検査法では診断が困難である、不適当に高い弁圧による通過障害も本法では検出できた。

本法は短時間に非侵襲的方法で脳脊髄液短絡路の通過状態の評価を生理的状态で検査でき、外来患者に対する緊急検査としても役立つことを確認した。

稿を終るに臨み、御指導、御校閲を賜りました久田欣一

教授に深甚の謝意を表します。また終始、御指導、御教示および御協力を頂きました金沢大学脳神経外科、山本信二郎教授ならびに諸先生、金沢医科大学脳神経外科、角家暁教授ならびに諸先生、金沢大学核医学科教室員各位に深く感謝いたします。

文 献

- 1) Nulsen, F. E. & Spitz, E. B. : Treatment of hydrocephalus by direct shunt from ventricle to jugular vein. Surg. Forum., 2, 399 - 403 (1952).
- 2) Pudenz, R. H., Russell, F. E., Hurd, A. H. & Shelden, C. H. : Ventriculo-auriculostomy. a technique for shunting cerebrospinal fluid into the right auricle. preliminary report. J. Neurosurg., 14, 171 - 179 (1957).
- 3) Ames, R. H. : Venticulo-peritoneal shunts in the management of hydrocephalus. J. Neurosurg., 27, 525 - 529 (1967).
- 4) Emery, J. L. & Hilton, H. B. : Lung and heart complications of treatment of hydrocephalus by ventriculoauriculostomy. Surgery, 50, 309 - 314 (1961).
- 5) Cohen, S. J. & Callaghan, R. P. : A Syndrome due to the bacterial colonization of Spitz-Holter valves. Br. Med. J., 2, 677 - 680 (1961).
- 6) Overton, M. C., III, & Snodgrass, S. R. : Ventriculo-venous shunts for infantile hydrocephalus. a review of five year's experience with this method. J. Neurosurg., 23, 517 - 521 (1965).
- 7) Becker, D. P. & Nulsen, F. E. : Control of hydrocephalus by valve-regulated venous shunt : avoidance of complications in prolonged shunt maintenance. J. Neurosurg., 28, 215 - 226 (1968).
- 8) Forrest, D. M. & Cooper, D. G. : Complications of ventriculoatrial shunts : review of 455 cases. J. Neurosurg., 29, 506 - 512 (1968).
- 9) Friedman, S., Zita-Gozum, C. & Chatten, J. : Pulmonary vascular changes complicating ventriculovascular shunting for hydrocephalus. J. Pediat., 64, 305 - 314 (1964).
- 10) Gabriele, O. F. & Clark, D. : Calcified thrombus of the superior vena cava complication of ventriculoatrial shunt. Am. J. Dis. Child., 117, 325 - 327 (1969).

- 11) **Yelin, F. S. & Ehni, G.** : Percallosal sump ventriculostomy for shunt-dependent hydrocephalic patient with small ventricles. case report. *J. Neurosurg.*, **31**, 570-573 (1969).
- 12) **Isamat, F.** : Bronchovenous fistula as a late complication of a ventriculoatriostomy. *J. Neurosurg.*, **31**, 574-575 (1969).
- 13) **Grosfeld, J. L., Cooney, D. R., Smith, J. & Campbell, R. L.** : Intra-abdominal complications following ventriculoperitoneal shunt procedures. *Pediatrics*, **54**, 791-796 (1974).
- 14) **Ignelzi, R. J. & Kirsch, W. M.** : Follow-up analysis of ventriculoperitoneal and ventriculoatrial shunts for hydrocephalus. *J. Neurosurg.*, **42**, 679-682 (1975).
- 15) **Little, J. R., Rhoton, A. L. Jr. & Mellinger, J. F.** : Comparison of ventriculoperitoneal and ventriculo-atrial shunts for hydrocephalus in children. *Mayo Clin. Proc.*, **47**, 396-401 (1972).
- 16) **Scarff, T. B., Nelson, P. B. & Reigel, D. H.** : External drainage for ventricular infection following cerebrospinal fluid shunts. *Child's Brain*, **4**, 129-136 (1978).
- 17) **Robertson, J. S., Maraga, M. I., & Jennett, B.** : Ventriculoperitoneal shunting for hydrocephalus. *Brit. Med. J.*, **1**, 289-292 (1973).
- 18) **Holtzer, G. L. & Lange, S. A.** : Shunt-independent arrest of hydrocephalus. *J. Neurosurg.*, **39**, 698-701 (1973).
- 19) **Epstein, F. J., Hochwald, G. M., Wald, A. & Ransohoff, J.** : Avoidance of shunt dependency in hydrocephalus. *Develop. Med. and Child Neurol.*, **17**, 71-77 (1975).
- 20) **Woodford, J., Saunders, R. L. & Sachs, E., Jr.** : Shunt system patency testing by lumbar infusion. *J. Neurosurg.*, **45**, 60-65 (1976).
- 21) **Evans, R. C., Tomas, M. D. & Williams, L. A.** : Shunt blockage in hydrocephalic children : the use of the valvogram. *Clin. Radiol.*, **27**, 489-495 (1976).
- 22) **Starer, F.** : The radiology of the Spitz-Holter valve in infancy. *Brit. J. Radiol.*, **46**, 485-495 (1973).
- 23) **Alker, G. J., Jr., Glasauer, F. E. & Leslie, E. V.** : The radiology of cerebrospinal fluid shunts and their complications. *Brit. J. Radiol.*, **46**, 496-503 (1973).
- 24) **Altman, J. & James, A. E., Jr.** : Ventriculovenous cerebrospinal fluid shunts. roentgenologic analysis. *Am. J. Roentgenol.*, **112**, 237-250 (1971).
- 25) **Savoirdo, M., Solero, C. L., Passerini, A. & Migliavacca, F.** : Determination of cerebrospinal fluid shunt function with water-soluble contrast medium. *J. Neurosurg.*, **49**, 398-407 (1978).
- 26) **DeLaender, F., Monteyne, R., de Schryver, L., Monstrey, J. & Merckx, J.** : L'utilisation de la téléthermographie chez les malades porteurs d'une dérivation du liquide céphalo-rachidien selon la technique de Holter. *Neurochirurgie*, **22**, 693-700 (1976).
- 27) **Flitter, M. A., Buchheit, W. A., Murtagh, F. & Lapayowker, M. S.** : Ultrasound determination of cerebrospinal fluid shunt patency. technical note. *J. Neurosurg.*, **42**, 728-730 (1975).
- 28) **Brisman, R., Schneider, S. & Carter, S.** : Subarachnoid infusion and shunt function. technical note. *J. Neurosurg.*, **38**, 379-381 (1973).
- 29) **Deway, R. C., Kosnik, E. J. & Sayers, M. P.** : A simple test of shunt function : the shuntgram. technical note. *J. Neurosurg.*, **44**, 121-126 (1976).
- 30) **Bell, R. L.** : Isotope transfer test in the diagnosis and treatment of hydrocephalus. *Int. J. Appl. Radiat.*, **5**, 89-93 (1959).
- 31) **Atkinson, J. R. & Foltz, E. L.** : Intraventricular "RISA" as a diagnostic aid in pre-and postoperative hydrocephalus. *J. Neurosurg.*, **19**, 159-166 (1962).
- 32) **Migliore, A., Paoletti, P. & Villani, R.** : Radioisotopic method for evaluating the patency of the Spitz-Holter valve. *J. Neurosurg.*, **19**, 605 (1962).
- 33) **Kagen, A., Tsuchiya, G., Patterson, V. & Sugar, O.** : Test for patency of ventriculovascular shunt for hydrocephalus with radioactive iodinated serum albumin. *J. Neurosurg.*, **20**, 1025-1028 (1963).
- 34) **Murray, S. & Wood, D. E.** : Myeloscintigrams in the assessment of lumboperitoneal shunts.

- Canad. Med. Ass. J., 100, 277-280 (1969).
- 35) **Matin, P., Goodwin, D. A. & DeNardo, G. L.** : Cerebrospinal fluid scanning and ventricular shunt. *Radiology*, 94, 435-438 (1970).
- 36) **James, A. E., Jr., DeBlanc, H. J., Jr., DeLand, F. H. & Mathews, S. E.** : Refinements in cerebrospinal fluid diversionary shunt evaluation by cisternography. *Am. J. Roentgenol.*, 115, 766-773 (1972).
- 37) **DiChiro, G. & Grove, A. S., Jr.** : Evaluation of surgical and spontaneous cerebrospinal fluid shunts by isotope scanning. *J. Neurosurg.*, 24, 743-748 (1966).
- 38) **Rudd, T. G., Shurtleff, D. B., Loeser, J. D. & Nelp, W. B.** : Radionuclide assessment of cerebrospinal fluid shunt function in children. *J. Nucl. Med.*, 14, 683-686 (1973).
- 39) **Gilday, D. L. & Kellam, J.** : ¹¹¹In-DTPA evaluation of CSF diversionary shunts in children. *J. Nucl. Med.*, 14, 920-923 (1973).
- 40) **Frick, M., Rösler, H. & Kinser, J.** : Functional evaluation of ventriculo-atrial and ventriculo-peritoneal shunt with ^{99m}Tc-pertechnetate. *Neuroradiology*, 7, 145-152 (1974).
- 41) **Depresseux, J. C. & Stevenaert, A.** : Méthodes radio-isotopiques d'étude du fonctionnement des dérivations du liquide céphalo-rachidien. *Neuro-Chirurgie*, 22, 411-428 (1976).
- 42) 前田敏男・森 厚文・久田欣一・角家 暁 : 脳室短絡手術後の核医学的診断. 臨床放射線, 21, 903-907 (1976).
- 43) 前田敏男・森 厚文・久田欣一・角家 暁 : 脳室短絡系路の核医学的閉塞部位診断.-実験的考察-. 核医学, 13, 781-785 (1976).
- 44) 前田敏男・森 厚文・久田欣一・角家 暁・中村 勉・久保田紀彦 : 脳室-心房, 脳室-腹腔短絡系路の機能測定法. -核医学的検査法-. 小児の脳神経, 2, 229-234 (1977).
- 45) 船井洋光・福田 隆・相羽 正・山崎統四郎 : 放射性同位元素による髄液短絡機能の診断. 日本医学放射線学会雑誌, 38, 560-569 (1978).
- 46) **Sty, J. R., D'Souza, B. J. & Daniels, D.** : Nuclear anatomy of diversionary central nervous system shunts in children. *Clin. Nucl. Med.*, 3, 271-275 (1978).
- 47) **Rickham, P. P. & Penn, I. A.** : Place of ventriculostomy reservoir in treatment of myelomeningoceles and hydrocephalus. *Develop. Med. & Child. Neurol.*, 7, 296-301 (1965).
- 48) 前田敏男・森 厚文・久田欣一・角家 暁 : 脳室短絡路内の脊髄液流量測定法-ファントム実験-. 核医学, 14, 297-301 (1977).
- 49) **Touya, E., Perillo, W., Lalanne, A., Gherzi, J., Souza, O. L. & Guelfi, A. G.** : Dynamic studies with radioisotopes in medicine, Vol. II, 115-131, Quantitative neurosurgical cerebrospinal fluid shunts, IAEA, Vienna, 1975.
- 50) **Harbert, J., Haddad, D. & McCullough, D.** : Quantitation of cerebrospinal fluid shunt flow. *Radiology*, 112, 379-387 (1974).
- 51) **Lee, J-S. & Fung, Y-C.** : Flow in nonuniform small blood vessels. *Microvasc. Res.*, 3, 272-287 (1971).
- 52) 松信八十男 : 流体力学的にみた血流異常. 臨床科学, 12, 1153-1157 (1977).
- 53) **Cutler, R. W. P., Page, L., Galicich, J. & Watters, G. V.** : Formation and absorption of cerebrospinal fluid in man. *Brain*, 91, 707-720 (1968).
- 54) **Rayport, M. & Reiss, J.** : Hydrodynamic properties of certain shunt assemblies for the treatment of hydrocephalus. part I : report of a case of communicating hydrocephalus with increased cerebrospinal fluid production treated by duplication of shunting device. part 2 : pressure-flow characteristics of the Spitz-Holter, Pudenz-Heyer, and Cordis-Hakin shunt systems. *J. Neurosurg.*, 30, 455-467 (1969).
- 55) **Fox, J. L., McCullough, D. C. & Green, R. C.** : Cerebrospinal fluid shunts : an experimental comparison of flow rates and pressure values in various commercial systems. *J. Neurosurg.*, 37, 700-705 (1972).
- 56) **Portnoy, H. D., Schute, R. R., Fox, J. L., Croissant, P. D. & Tripp, L.** : Anti-siphon and reversible occlusion valves for shunting in hydrocephalus and preventing post-shunt subdural hematomas. *J. Neurosurg.*, 38, 729-738 (1973).
- 57) **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. 3. a concept of hydrocephalus. *J. Neurol. Neurosurg. & Psychiat.*, **36**, 302-312 (1973).

58) **McCullough, D. C. & Fox, J. L.** : Negative intracranial pressure hydrocephalus in adults with shunts and its relationship to the production of subdural hematoma. *J. Neurosurg.*, **40**,

372-375 (1974).

59) **Yamada, H., Tajima, M. & Nagaya, M.** : Effect of respiratory movement on cerebrospinal fluid dynamics in hydrocephalic infants with shunts. *J. Neurosurg.*, **42**, 194-200 (1975).

60) **Bering, E. A., Jr. & Sato, O.** : Hydrocephalus : changes in formation and absorption of cerebrospinal fluid within the cerebral ventricles. *J. Neurosurg.*, **20**, 1050-1063 (1963).

Radionuclide study on evaluation of the flow rate and patency of the cerebrospinal fluid shunt. Toshio Maeda, Department of Nuclear Medicine, Kanazawa University, Kanazawa, 920, Japan. J. J. J. Med. Soc., 88, 368-385(1979).

Abstract In neurosurgical practice cerebrospinal fluid (CSF) shunts have been used in the treatment of hydrocephalus. Since various problems can occur after a shunt installation, it would be helpful if CSF flow rates through the implanted shunt and shunt patency could be determined.

In this paper, the assessment of fluid flow through a Pudenz system or a Rickham reservoir with Holter valve was investigated using radioactive tracer.

Approximately 50-100 μCi of $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ was injected into the reservoir, and the time-activity curve on the area of the reservoir was recorded with a gamma camera.

In phantom experiments, the relationships between radioactivity clearance half times ($T_{1/2}$) and corresponding flow rates (F), which were determined by an infusion pump, were obtained. The time-activity curve showed double exponentials. In each reservoir the relationship between F and $T_{1/2}$ of the first component was identical with the clearance formula, which is $F = \frac{0.693}{T_{1/2}} V$, where V is the volume of the reservoir. On the other hand, the relationships of the second component were $\log_{10} F = -1.3 \log_{10} T_{1/2} + 0.087$ and $\log_{10} F = -1.8 \log_{10} T_{1/2} + 0.019$ in a Pudenz 12mm and a standard Rickham reservoir, respectively. Difference in injection volume, location of injection and concentration of albumin in the perfusion fluid did not have any significant effect on the $T_{1/2}$ of the second component. The duration of the first component was too short to record in clinical practice, so that the equations obtained from the second component was practical.

In clinical studies, the CSF flow rate was changeable dependent on the examined position and time. They showed various flow rates in a supine position. In a sitting position they showed larger flow rates than those of the supine position, and they were more than 0.1 ml/min.

The CSF aspiration from the reservoir was not possible in the case of proximal obstruction. The scintiphoto showed ventricle but not the distal end of the shunt after flushing in the case of the distal obstruction. The abnormal pooling of radioactivity at the peritoneal or atrial end of the shunt tube indicated the damaged CSF diffusion due to cyst formation or partial obstruction. One patient showed CSF leakage from the shunt tube and pooling under the skin, which was detected by scintiphoto. In some cases, the time-activity curve did not show any flow but the scintiphoto showed no obstruction of the shunt. The closing pressure of the system might be improperly high in these patients.