

短絡管機能とその評価

宇佐美 卓、田中靖通
中村順一、末松克美*

Shunt Function and Its Evaluation

Takashi USAMI, Yasumichi TANAKA, Jun-ichi NAKAMURA and Katsumi SUEMATSU*

Department of Neurosurgery, Nakamura Memorial Hospital, Sapporo, Japan and
*Hokkaido Brain Research Foundation, Sapporo, Japan.

Summary : Authors reviewed the literatures concerning the evaluation of the patency and the function of the cerebrospinal fluid shunt. The methods about the evaluation of the function of the shunt in patients with hydrocephalus were divided into 4 categories ; radioisotope method, X-ray method, infusion method and others. Contemporary problems about the mal-function of shunt were discussed in this issue. The result indicated that multiple use among 4 categories is important for the evaluation of shunt function.

Key words :

- CSF shunt
- shunt function
- shunt system
- hydrocephalus

はじめに

1952年、Nulsen FE, Spitz EB⁴⁾が valve-regulated shunt を用いた水頭症治療を報告して以来、短絡管設置手術は水頭症治療の主座を占め現在に至っている。しかし、閉塞や感染など、異物をうめこむ手術の宿命ともいえる合併症は、現在もなお大きな問題である。加えて、短絡管の機能不適合の結果というべき機能過剰（髄液が過剰に排出される）や、機能不全（髄液の排出はあるが量が不十分）も論議の中心となりつつある。

このため、より良い機能をはたすべく、数多くの shunt system が開発され、他方、短絡管機能の評価をめぐる種々の研究がなされてきた。

本稿では短絡管機能の評価に関する文献を再見し、あわせて、現在論議されている短絡管機能の問題点をいくつか列挙し、その要点をふまえながら短絡管機能の評価法について考察を加えたい。

短絡管機能評価の歴史

Nulsen, Spitz 以後の時代で、短絡管機能の原点である開存性を in vivo で初めてとらえたのは1957年の Bell RL⁴⁾ の報告と思われる。この方法は、¹³¹I human serum albumin (RISA) を脳室内に注入し、その拡散や移動を体外から Geiger counter を用いて感知することであった。1959年、Bell RL⁵⁾ は本法の詳細を報告し、また同年、Schlesinger EB et al⁶⁾、1962年、Atkinson JR & Foltz EL³⁾、同年、Migliore A et al⁴²⁾、1963年、Kagen A et al³¹⁾、同年、Mundinger F et al⁴³⁾ も同様の方法、すなわち、短絡管が開存の場合、脳室に注入された Radioisotope (RI) は、すばやく腹腔あるいは血中に現れるため、腹部あるいは血液中の RI activity を計測することで開存を評価するという内容を報告した。

1966年、Di Chiro G & Grove Jr AS¹³⁾ は、RISA を経皮的に shunt system に注入し、scanning することで、初めて画像としての短絡管の開存性を報告

した。

1968年、Lakke JPW & Go KG³⁴⁾ は shunt tube 内の髄液を体表上から局所的に冷却し、この「cold」の移動を冷却部より遠位においた thermosensor で感知するという cold transfer test を発表し、1970年、Go KG et al²⁰⁾ は本法の改良を報告した。

1968年、Andersson H & Lögren J²⁾ は脳室ヘリンゲル液の constant infusion (0.5~1 ml/min) を行ない、脳室内圧を測定することで短絡管の機能を評価した。

1969年、Murray S & Wood DE⁴⁴⁾ は myeloscintigram を施行することで L-P shunt の開存性を画像として評価した。

同年、McCullough DC & Harbert JC⁴¹⁾ は短絡管機能の評価は目的としなかったが、脳室内に technetated serum albumin を注入し、Gamma camera でとらえた shunt 像を報告した。

同年、Amador LV et al¹⁾ は水溶性造影剤である diatrizoate sodium (Hypaque) を経皮的に Holter valve に注入し、X線透視下に画像診断する方法で短絡管の開存性を論じ、これを Valvulography と称した。

1970年、Matin P et al³⁸⁾ は cerebrospinal fluid scanning という、現在の RI cisternography と同義の方法で、短絡管の開存を論じた。本法によれば、RISA を lumbar injection すると、開存の場合は、4~6時間後に RI の脳室内集積がみられると述べられている。

1971年、Brisman R et al⁶⁾ は、腰椎穿刺より30mlの乳酸リンゲル液を1 ml/10sec. の割合で用手注入し、注入量-圧-時間の関係を記録し、infusion index (圧変化/注入量) を求めることで、短絡管の機能を評価し、その臨床経験は1973年に報告された⁷⁾。

1972年、James Jr AE et al²⁹⁾ は Yb¹⁶⁹ DTPA を核種とし、Gamma camera による cisternography で短絡管の開存を論じた。

同年、Bueno FA et al⁹⁾ は ^{99m}Tc あるいは ^{133m}In を経皮的に Pudenz valve に注入し、Anger camera を用いて短絡管の開存を画像診断した。

同年、Carrillo R et al¹⁰⁾ は100mCi の ¹⁹⁸Au colloid を shunt reservoir に注入し、RI の移動により count が半減する時間をもって短絡管の機能を評価した。

1973年、Rudd TG et al⁵³⁾ は ^{99m}TcO₄ を shunt に注入し、RI の clearance を計測することで短絡管の

流量を計算し、正常に働いている短絡管の流量は0.05~0.25ml/min. という値を報告した。同時に、流量は正常だったが、髄液圧が高く、revision を要した症例を報告し、開存や流量のみでなく、髄液圧についても留意する必要性を述べた。

同年、Harbert JC et al²⁵⁾ も同様の方法論を報告し、種々の shunt system を検討しての研究内容を1974年に報告²⁶⁾している。

1974年、Hayden PW et al²⁷⁾ は RI を shunt reservoir に経皮的に注入し、Gamma camera による画像、clearance rate, reservoir を介した脳室内髄液圧測定を同時に行ない短絡管機能を論じた。

1975年、苧坂ら⁴⁸⁾ は shunt system 内に、電磁石、フォトランジスタを用いた流量計を組み込んだ試作品を発表したが、まだ実用には至らなかった。

同年、Flitter MA et al¹⁵⁾ は shunt tube の埋没された体表上に Doppler flow detector をおき、flushing device を pumping することで、短絡管の開存を調べる方法を報告した。

同年、Evans RC et al¹⁴⁾ は meglumine iocarmate (Dimer-X) を用いて、X線透視下に shunt 造影を行う方法 (Valvogram) を報告した。本法はすでに報告された Amador の方法と同様であったが、新しい造影剤である Dimer-X の脳室への流入の安全性が述べられている。

1976年、Dewey RC et al¹²⁾ は Conray-60を用い、Amador, Evans らと同様の方法を行ない shunt-gram と称した。対象は小児であったが、造影剤注入の3分後の clearance を正常、6分後の clearance を不全疑、clearance に9分以上を要する場合を異常として、経時変化を重視した。また、別に測定した頭蓋内圧にも留意している。

同年、Woodford J et al⁶⁰⁾ は対象を成人正常圧水頭症として、lumbar infusion 法により、短絡管機能を評価した。本法は、Part A, B より成り、Aでは乳酸リンゲル液を1.5ml/min. の割合で10分間注入し、圧変化を記録し、Bでは短絡管を用指で閉塞させ同様の注入を行うもので、A, B での圧変化の差を読み取ることで機能を論じた。本法では短絡管機能の dynamic な評価が強調されている。

同年、Magnaes B³⁷⁾ は、座位と側臥位での髄液圧測定と側臥位での lumbar infusion test (1.5ml/min.) を、shunt 手術の前後に行ない、術後の座位および側臥位の髄液圧から shunt adequacy を、術後の infusion test の結果から shunt capacity を評価した。

同年および、1977年、前田ら³⁵⁾³⁶⁾ は Frick M et

al¹⁷⁾、Rudd らの方法に類似した画像診断や流量測定を報告した。

1977年、山田ら⁵⁸⁾は経皮的に Pudenz valve を穿刺し、manometer にて初圧を測定したのち、50cmの tube に生食を満たしたものを穿刺針に接続し、水柱の下降停止（終圧）をみ、distal slit valve の機能を評価した。不調がみられた場合は、valve 内へ Conray-60あるいは Dimer-X を注入し、shuntgraphy を行うという検査を報告した。

1978年、山崎ら⁵⁹⁾は温度変化で色が変わる、カメレオンプリント紙を利用し、Lakke らの方法に準じて機能評価をした。

1979年、松岡ら³⁹⁾は、Rudd の方法に準ずる短絡管流量測定を報告し、1980年には flushing device の経皮穿刺による manometric pressure study と Conray-60による shuntgraphy の3者を組み合わせた短絡管機能検査を発表した⁴⁰⁾。

1980年、苧坂と太田⁴⁹⁾は shunt system に小型頭蓋内圧計を組み込み、体表においたプローベから圧変化を感知する装置を開発した。しかし、発表の時点では、短絡管機能の評価に関する内容は述べられなかった。

同年、千葉と湯田¹¹⁾は新しく開発された disc-thermistor を用い Go らの方法を發展させ、その実験と臨床経験を報告した。

1981年、大矢ら⁴⁷⁾は Rudd らの方法に準じた短絡管内流量測定を発表した。従来の方法は RI を注入した reservoir 上で activity を count したが、大矢らは clearance half time の決定に困難が生じやすいとの理由で、tube 上の2点の RI の mean transit time を求める方法を述べている。

同年、原ら²³⁾は shunt system に組み込まれた relieving coil に体外から high frequency generator を作用させ、発電された電気で水を電気分解し、tube 内に気泡をつくり、気泡の tube 内移動を体外から ultrasonic doppler flowmeter で感知し、流量を算出するという非侵襲的な流量測定法を発表した。1983年に続く報告²⁴⁾によれば、本法による24時間モニターの経過から流量の日内変動の存在が述べられている。

1983年、中田ら⁴⁵⁾は短絡管機能テストについて論じ、短絡管へ経皮的に RI を注入することで流量測定と shuntgraphy を行ない、この結果、機能不全が疑われた場合、Katzman の方法による lumbar infusion を行う検査手順を発表した。手順は flow chart の形で述べられている。

小 括

短絡管機能検査法を、その手段に従って分類すると、① RI を用いる方法 (RI 法)、②水溶性造影剤を用いた X 線での shunt 造影 (X 線撮影法)、③ infusion test による圧測定 (infusion 法)、④その他の方法の4群に分けられる。

Bell にはじまる RI の利用は最も多用されている手段といえるが、Bell の時代は count を Geiger 管で行っていたため、短絡管機能に関しては定性的な検査にすぎなかった。

Di Chiro は scanner を用いて RI による shunt の画像化をなした点で、また、初めて短絡管に注入したことで、時代を画する意義があったと思われる。この業績は、一方では RI cisternography の普及に伴い、cisternography からみた短絡管機能評価に發展し、他方、Gamma camera の導入により、Bueno 以後の研究にみられるごとく、より鮮明な、且つ、経時変化をもみた shunt 画像の診断¹⁶⁾に發展した。

Gamma camera が用いられるようになると、関心領域の count が可能となり、Carrillo の研究は短絡管流量の定量化への第一歩をしるし、この定量化は Rudd や Harbert によって実用化され、種々の知見²⁸⁾ ³⁰⁾ ³⁹⁾ ⁴⁷⁾ を加えながら現在に至っている。しかし、この RI clearance による流量計算にも問題があり、第一には RI は reservoir 内で均一に混合されていなければならず⁵³⁾、第二に RI の reservoir 内拡散容積も、真の reservoir の容積と一致しないことがあり²⁶⁾、第三に clearance 曲線が二相性の指数関数を示した場合、いずれの相を採用するか³⁶⁾などがあげられている。

第三の問題に対して Kuruc A et al³³⁾ は area over height による分析を提唱している。

X 線撮影による画像をもって短絡管の開存をみる方法は、shunt 造影の外にも周囲の生体の解剖学的な情報を与えてくれるため、画像情報量からみれば、RI による画像よりもより明確と思われる。Amador は Hypaque を用いたが、この造影剤は中枢神経系への安全性に問題があった¹⁴⁾ため、本法の普及は Dimer-X や Conray-60などのより安全な造影剤の開発をまたねばならなかった。

Infusion 法は RI 法や X 線撮影法に比べると、直接性に欠けるが、水頭症あるいは短絡術を論ずる場合 hydrodynamics (pressure-volume-flow relationship) が大きな意義を有することから、短絡管機能の評価するのみならず、病態を解明する上にも重要な方法

と思われる。Andersson の研究が、Katzman & Hussey の constant infusion test の発表の 2 年前になされていたことは興味深い。

Infusion 法の場合、結果は「髄液腔コンプライアンス+髄液吸収量+短絡管機能量」の和として表わされるため、注入量、速度などに検討の余地があるように思われ、検査に時間がかかること、侵襲的なことなども広く普及をみない理由と思われる。しかし、中田らは脳室圧が正常あるいは低圧で、短絡管の開存も認めるような例では、本法は有用であると述べ⁴⁵⁾、Magnaes も infusion 法は水頭症の短絡術への依存度を知るてがかりとなると述べている³⁷⁾。

前述の RI 法、X 線撮影法、infusion 法のいずれもが、穿刺や圧容積負荷など侵襲的な検査であるのに対し、非侵襲的な検査法の追求は Lakke に始まった。この thermosensor を用いた cold transfer test は、山崎、千葉、Stein SC、藤田⁴⁸⁾などの研究へと発展している。Tube 上の皮下脂肪が厚い場合、tube 内の髄液がうまく冷却できない⁵⁰⁾ことや、流量が極端に少ない場合は感知できない⁵⁰⁾ことなどが問題とされているが、藤田や千葉は流量の測定を試みるに至っている。

苧坂の流量計や頭蓋内圧計ははまだ十分な臨床的知見がないことがおしまれる。

Doppler を用いた方法は Flitter によって始められたが、原らの方法は流量の測定や 24 時間モニターをも可能にした。しかし、shunt system に計測を目的とした機器を組み込むことは、短絡術本来の理想である簡素化から考えると一考を要し、さらに近年普及の著しい MRI の機器への影響を考えると、新たな問題を生む可能性も否定できない。

短絡術の水力学的な問題とその対策

水頭症における短絡管の役割は、髄液産生量-吸収量の差である過剰貯留分を他の吸収可能な部位へ導くことである。産生量と吸収量に大きな変動がなければ、短絡管は一定の過剰分だけを流せばよく、この意味で、理想の短絡管は flow controlled shunt といわれている⁵²⁾。しかし、実際には個々の症例での過剰髄液量は求められないため、現在用いられている短絡管は圧差変動による differential pressure valve-regulated shunt となっている。

圧差 (differential pressure) = DP を Buchheit F et al⁸⁾に従って $DP = ICP + L - IAP$ と表わす。ここで ICP は脳室内髄液圧、L は短絡管の長さ (脳室と短絡管遠位部の落差)、IAP は腹腔あるいは右

心房の内圧である。

体位の変化を考えると、ICP、L、IAP のいずれもが変数であることがわかる。ICP は臥位では陽圧で立位で陰圧となり、L は V-A shunt の場合短く、成人の V-P shunt の場合は大きくなるものの、臥位では全て zero とみなすことができる。IAP について、右房内圧は、いずれの体位でもほぼ zero か陰圧であり、腹腔内圧は立位で、hepatodiaphragmatic space で zero、成人の臍の高さで 150mmH₂O、ダグラス窩では 300mmH₂O、臥位ではいずれの部位も 80mmH₂O といわれている⁸⁾。また、L-P shunt の場合は Buchheit の式はあてはまらないが、立位では ICP + L のかわりに座位での腰椎穿刺髄液圧をあてることができる。すなわち、V-A shunt を除き、L の変化、つまり体位の変化が differential pressure を大きく左右していることがわかる。臥位でよく機能する短絡管も立位では容易に over-drainage をひきおこすことが推測される。

この体位変換による flow-pressure の好ましからざる変化に対処すべく、1973年、Portnoy HD et al⁵⁰⁾は antisiphon device (ASD) を開発した。しかし、Sainte-Rose C et al⁵⁴⁾によれば、ASD を用いた shunt を立位 (遠位に陰圧をかけた状態) におくと脳室内圧が上昇してくるといい、ASD の問題点として指摘した。

1973年、Hakim S²²⁾は、一般的には脳室が著明に拡大している場合、短絡管の弁圧は低圧が好ましく、脳実質の容積回復がよいと述べるとともに、一端、脳室圧が下がり、subdural stress が減ずると、小児では狭頭症を生じやすいため、脳室が正常大となった後は、弁圧を上げてやる必要があるといい、この目的のため、Servo-valve shunt の開発の必要性を述べた。

1976年、Portnoy HD et al⁵¹⁾も、大気圧下では一定圧で作動する弁も、体内では differential pressure valve であるが故に、siphon 効果が生じて valve 遠位に引圧がかかると脳室内圧が極端に下がってしまうことを認め、ある種の sensor による弁圧の自動調節の必要性を述べている。

1987年、Sainte-Rose C et al⁵⁴⁾は constant resistance valve の限界を知り、脳室圧も体位や REM 睡眠などにより常に変化するものであることを考慮した上で、variable-resistance-valve (Orbis-Sigma valve) を開発し、その実験および臨床の経験を満足すべきものとして報告している。

最近、フランスの Sophysa 社は体外からマグネッ

トで弁圧を3段階に変更しうる Programmable pressure valve を開発し発売した。

まとめ

短絡管機能の判定には、①流量の多すぎる機能過剰、②正常、③流量の不十分な機能不全、④機能停止（閉塞）の各段階が評価されねばならない⁴⁹⁾が、各々の状態は厳密には区別をつけ難い連続的な概念であろう。

短絡管の機能評価を歴史的にふり返ると、閉塞か否かの定性的な評価から、流量測定のごとき定量的な方向へ、また侵襲的な検査から非侵襲的なものへの傾向がうかがえる。

最近の shunt system 開発の動向をみても明らかとなっており、弁圧の決定に始まる病態に適合した shunt system の選択や、理想の shunt system の開発はまだまだ成就したとはいえない。このような状況下で機能不適合を評価することは困難の多いことと思われる。流量測定、画像診断、圧測定の内いずれもが単独では限界のあることは明白であり、松岡や中田の強調するごとく、各々の検査法の特徴をいかした組合せが重要と思われる。また、ASD や Orbis-Sigma valve のような特殊機能を有する system では、その機能をふまえた検査法や結果判定が必要となろう。

現在普及している differential pressure valve 使用の shunt system においては、立位、臥位の体位変化を考慮した機能判定が必要と思われ、現時点では閉塞診断には shunt 造影と圧測定が、機能不全には開弁圧を知る目的で infusion test が、機能過剰には立位（座位）における流量測定が有用と思われる。

文 献

- 1) Amador LV, Jara O, Porras CL : Valvulography, A test for patency of Holter valve shunts. *Amer J Dis Child* 117 : 190-193, 1969
- 2) Andersson H, Lögren J : Hydrodynamic evaluation of shunt performance in hydrocephalus. *Dev Med Child Neurol* [Suppl 16] : 30-34, 1968
- 3) Atkinson JR, Foltz EL : Intraventricular "RISA" as a diagnostic aid in pre- and postoperative hydrocephalus. *J Neurosurg* 19 : 159-166, 1962
- 4) Bell RL : Isotope transfer test for diagnosis of ventriculo-subarachnoidal block. *J Neurosurg* 14 : 674-679, 1957
- 5) Bell RL : Isotope transfer test in the diagnosis and treatment of hydrocephalus. *Int J Appl Radiat* 5 : 89-93, 1959
- 6) Brisman R, Schneider S, Carter S : Lumber CSF infusion test and shunt patency. *Trans Am Neurol Assoc* 96 : 212-13, 1971
- 7) Brisman R, Schneider S, Carter S : Subarachnoid infusion and shunt function, technical note. *J Neurosurg* 38 : 379-381, 1973
- 8) Buchheit F, Maitrot D, Healy JL, Gusmao S : How to choose the best valve. *Monogr Neural Sci* 8 : 184-187, 1982
- 9) Bueno FA, Yagüe RC, Romero JLC, Barrocal JO : Application of the Anger camera in the evaluation of the permeability of Pudenz valves, evaluation of a new method. *Angiography / Scintigraphy Symposium of the Europ Ass Radiol*, pp 89-95, Springer, 1972
- 10) Carrillo R, Arnaiz F, Chamorro JL, Herrero J, Bravo G : Isotope control of the ventriculoatrial shunts, in Bushe KA, Spoerri O, Show J : *Progress in Paediatric Neurosurgery*. Stuttgart, Hippokrates Verlag : 1972, pp 155-157
- 11) 千葉康洋, 湯田兼次 : 小さな thermistor を用いた新しい髄液短絡管機能判定法. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 20 : 281-287, 1980
- 12) Dewey RC, Kosnik EJ, Sayers MP : A simple test of shunt function : the shuntgram, technical note. *J Neurosurg* 44 : 121-126, 1976
- 13) Di Chiro G, Grove Jr AS : Evaluation of surgical and spontaneous cerebrospinal fluid shunts by isotope scanning. *J Neurosurg* 24 : 743-748, 1966
- 14) Evans RC, Thomas MD, Williams LA : The use of the valvogram for the detection of shunt blockage in hydrocephalic children. *Dev Med Child Neurol* 17, [Suppl 35] : 94-98, 1975
- 15) Flitter MA, Buchheit WA, Murtagh F, Lapayowker MS : Ultrasound determination of cerebrospinal fluid shunt patency, technical note. *J Neurosurg* 42 : 728-730, 1975
- 16) French BN, Swanson M : Radionuclide-imaging shuntography for the evaluation of shunt patency. *Surg Neurol* 16 : 173-182, 1981
- 17) Frick M, Rösler H, Kinser J : Functional evaluation of ventriculo-atrial and ventriculo-peritoneal shunts with ^{99m}Tc-pertechnetate. *Neuroradiol* 7 : 145-152, 1974
- 18) 藤田勝三, 玉木紀彦, 松本 悟 : 脳室-腹腔短絡管冷却による機能判定法, 特に流量測定を試みについて. *脳神経外科* 10 : 1085-1090, 1982
- 19) Gilday DL, Kellam J : ¹¹¹In-DTPA evaluation of CSF diversionary shunts in children. *J Nucl Med* 14 : 920-923, 1973
- 20) Go KG, Van der Veen PH, Van der Berg JW : Detection of CSF flow in ventriculo-atrial shunts by cold transfer. *Dev Med Child Neurol* 22 [Suppl] : 69-72, 1970
- 21) Graham P, Howman-Giles R, Johnston I, Besser M : Evaluation of CSF shunt patency by means of technetium-^{99m}DTPA. *J Neurosurg* 57 : 262-266, 1982
- 22) Hakim S : Hydraulic and mechanical mis-matching of valve shunts used in the treatment of hydrocephalus :

- the need for a servo-valve shunt. *Dev Med Child Neurol* 15 : 646-653, 1973
- 23) 原 充弘, 門脇親房, 小西善史, 酒井龍雄, 沼本満夫, 竹内一夫: 短絡管の髄液流量計の開発ならびにその臨床応用. *脳と神* 34 : 947-953, 1982
 - 24) Hara M, Kadowaki C, Konishi Y, Ogashiwa M, Numoto M, Takeuchi K : A new method for measuring cerebrospinal fluid flow in shunts. *J Neurosurg* 58 : 557-561, 1983
 - 25) Harbert JC, Haddad D, McCullough DC : Quantitation of CSF shunt flow. *J Nucl Med* 14 : 405, 1973
 - 26) Harbert J, Haddad D, McCullough D : Quantitation of cerebrospinal fluid shunt flow. *Radiology* 112 : 379-387, 1974
 - 27) Hayden PW, Rudd TG, Dizman D, Loeser JD, Shurtleff DB : Evaluation of surgically treated hydrocephalus by radionuclide clearance studies of the cerebrospinal fluid shunt. *Dev Med Child Neurol* 16 [Suppl 32] : 72-78, 1974
 - 28) Hayden PW, Shurtleff DB, Stuntz TJ : A longitudinal study of shunt function in 360 patients with hydrocephalus. *Dev Med Child Neurol* 25 : 334-337, 1983
 - 29) James Jr AE, DeBlanc Jr HJ, DeLand FH, Mathews ES : Refinements in cerebrospinal fluid diversionary shunt evaluation by cisternography. *Am J Roentgenol* 115 : 766-773, 1972
 - 30) 角家 暁, 伊東正太郎, 久保田紀彦, 前田敏男: 脳脊髄液短絡路内の流量について. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 21 : 565 - 571, 1981
 - 31) 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
 - 32) Katzman R, Hussey F : A simple constant-infusion manometric test for measurement of CSF absorption, I. Rationale and method. *Neurol* 20 : 534-544, 1970
 - 33) Kuruc A, Treves S, Welch K, Merlino D : Radionuclide estimation of cerebrospinal fluid shunt flow, Evidence supporting an alternative theoretical model. *J Neurosurg* 60 : 361-364, 1984
 - 34) Lakke JPWF, Go KG : A simple method to determine patency of ventriculo-atrial shunts in children with hydrocephalus. *Neurochirurgia (Stuttgart)* 11 : 210-216, 1968
 - 35) 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, 第1報: 短絡路の開通性検査. *臨放* 21 : 903-907, 1976
 - 36) 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-腹腔短絡経路の機能測定法, 核医学検査法. *小児の脳神経* 2 : 229-234, 1977
 - 37) Magnaes B : Testing cerebrospinal fluid shunt capacity and adequacy by the lumbar route in adults. *Surg Neurol* 6 : 327-333, 1976
 - 38) Matin P, Goodwin DA, DeNardo GL : Cerebrospinal fluid scanning and ventricular shunts. *Radiology* 94 : 435-438, 1970
 - 39) 松岡好美, 端 和夫, 河原崎 篤, 大川直澄: 髄液短絡装置の流量測定法. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 19 : 909-915, 1979
 - 40) 松岡好美, 端 和夫: 脳室腹腔吻合機能不全例に対する shunt function test の選択. *脳神経外科* 8 : 43-48, 1980
 - 41) McCullough DC, Harbert JC : Isotope demonstration of CSF pathways. *JAMA* 209 : 558-560, 1969
 - 42) Migliore A, Paoletti P, Villani R : Radioisotopic method for evaluating the patency of the Spitz-Holter valve. *J Neurosurg* 19 : 605, 1962
 - 43) Mundinger F, Anlauf M, Bouchard G : Die cardiale Impulsfrequenzmessung des Jod¹³¹-Hippuran, eine neue Methode zur Passageprüfung ventrikuloatrialer Shunts und die ventrikuläre Resorptionsprüfung zur Differentialdiagnose der Hydrocephali. *Acta Neurochir* 11 : 272-286, 1963
 - 44) Murray S, Wood DE : Myeloscintigrams in the assessment of lumboperitoneal shunts. *Canad Med Ass J* 100 : 277-280, 1969
 - 45) 中田義隆, 能勢忠男, 伴野悠士, 牧 豊: シェント機能テストについて, パルプ内髄液圧測定, RI study Infusion test の意義: *Neurol Med Chir (Tokyo)* 23 : 456-463, 1983
 - 46) Nulsen FE, Spitz EB : Treatment of hydrocephalus by direct shunt from ventricle to jugular vein. *Surg Forum* 2 : 399-403, 1951
 - 47) 大矢昌紀, 津金隆一, 伊藤正治, 野尻 健, 佐藤 修, 池井勝美: 髄液短絡流量の定量的測定と shunt system の機能評価. *小児の脳神経* 6: 255-263, 1981
 - 48) 苧坂邦彦, 松本 悟, 土居 巖, 松本隆一: 流量計付脳室腹腔短絡管の試作について (第1報). *医科器械学雑誌* 45: 133-135, 1975
 - 49) 苧坂邦彦, 太田富雄: 短絡管機能判定法, 各種機能判定法の限界と短絡管系に組み込まれた頭蓋内圧計の開発. *脳神経外科* 8 : 811-817, 1980
 - 50) Portnoy HD, Schulte RR, Fox JL, Croissant PD, Tripp L : Anti-siphon and reversible occlusion valves for shunting in hydrocephalus and preventing post-shunt subdural hematomas. *J Neurosurg* 38 : 729-738, 1973
 - 51) Portnoy HD, Tripp L, Croissant PD : Hydrodynamics of shunt valves. *Childs Brain* 2 : 242-256, 1976
 - 52) Portnoy HD : Hydrodynamics of shunts. *Monogr Neural Sci* 8 : 179-183, 1982
 - 53) Rudd TG, Shurtleff DB, Loeser JD, Nelp WB : Radionuclide assessment of cerebrospinal fluid shunt function in children. *J Nucl Med* 14 : 683-686, 1973
 - 54) Sainte-Rose C, Hooven MD, Hirsch JF : A new approach in the treatment of hydrocephalus. *J Neurosurg* 66 : 213-226, 1987
 - 55) Savoiaro M, Solero CL, Passerini A, Migliavacca F : Determination of cerebrospinal fluid shunt function with water-soluble contrast medium. *J Neurosurg* 49 : 398-407, 1978
 - 56) Schlesinger EB, De Boves S, Cheek W : A method for

- the evaluation of the patency of shunts in the treatment of obstructive hydrocephalus. Trans Amer Neurol Ass 84 : 197, 1959
- 57) Stein S : Testing cerebrospinal fluid shunt function : A noninvasive technique. Neurosurgery 6 : 649-651, 1980
- 58) 山田博是, 田島正孝, 景山直樹, 中村茂俊 : 脳室腹腔吻合術・機能不全の原因と診断, Shuntgraphy および Flushing device manometric test. Neurol Med Chir (Tokyo) 17, Part II : 253-260, 1977
- 59) 山崎 駿, 苧坂邦彦, 平山昭彦, 藤田勝三, 松本 悟 : カメレオン・プリント®を利用した新しい髄液短絡管の機能判定法. 脳神経外科 6 : 253-257, 1978
- 60) Woodford J, Saunders RL, Sachs Jr E : Shunt system patency testing by lumbar infusion. J Neurosurg 45 : 60-65, 1976