臨床技術

CT用シリンジ製造影剤の注入時における安定性評価

廣田勝彦・奥井彰二・小松明夫

島根医科大学附属病院放射線部

論文受付

1998年8月3日

論文受理

1999年6月4日

Code No. 251

1. はじめに

近年、CT装置の発展はめざましく、高速撮像や3Dの画像構築が容易にできるようになり、造影CTの比率が著しく高まってきている。これに伴って、造影剤はバイアルからシリンジ製剤に移行した。しかし、造影CTにおいて造影剤注入先端の針は末梢血管に確保

されるため急速注入が必要な時、ルート内の圧力の上昇に伴いチューブやシリンジの破損、注入針からのジェット流出による血管損傷や血管痛が危惧される。

今回、安全な造影検査を行うのに不可欠な造影剤注入システムの安定性を注入速度とルート内の圧力の観点から検討した。

Evaluation of Automatic Control Syringe Injectors for Contrast Media: For a Safe, Constant Injection Rate

KATSUHIKO HIROTA · SHOUJI OKUI and AKIO KOMATSU

Shimane Medical University Hospital Radiological Center

Received Aug. 3, 1998; Revision accepted June 4, 1999; Code No. 251

Summary

In contrast-enhanced CT, many kinds of contrast media are administered with an automatically controlled syringe injector whose needle is retained in a peripheral vessel. In such cases, damage to the injection syringe caused by intratube pressure and/or jet flow from the needle may result in injury and pain at the injection site of the vessel. Thus, stable injection including the needle tip is essential. To improve the reliability of injections and to ensure the safety of patients, we evaluated three factors, syringe materials, needles, and contrast media, by measuring intratube pressure. Frictional resistance of the syringe was also evaluated as it relates to syringe configuration. We found that the intratube pressure increased in proportion to the density and viscosity of each contrast medium. However, it was revealed that the pressure itself fluctuated according to the material and configuration of each syringe container. Glass syringes showed less intratube pressure and a stable injection rate, leading to more favorable results than nylon syringes. Further, intratube pressure was reduced by replacing the "winged-type" steel needle (21 G) with a "surflow-type" nylon needle (22 G) having the same internal diameter at the injection rate of 3 ml/sec.

Key words: Computed tomography, Injection of contrast medium

別刷資料請求先：〒693-8501 島根県出雲市塩冶町89-1
島根医科大学附属病院 放射線部 廣田勝彦 宛

2. 方法

2-1 使用機器

自動注入装置	：オートエンハンスA-50 (株式会社根本杏林堂製)
圧力計	：GC 75(長野計器製作所製)
アンギオチューブ	：エクステンションチューブL100 (株式会社根本杏林堂製)
翼状針	：L400 21G (株式会社根本杏林堂製)
サーフロ留置針	：22G(テルモ株式会社製)

今回の検討にはCT用注入装置A-50を用い、Fig.1のように配置した。ルートチューブは耐圧性のアンギオチューブを用い、翼状針は34°Cの水道水100mlの入ったバケツの中に固定して測定した。シリンジ製造造影剤を注入装置を用いて注入した場合、ルート内の圧力に影響すると思われる要因について各々検討した。

2-2 流体力学による影響

流体は「自由に変形できる性質をもつもの」をいい、流体が変形を受けるとき、これに逆らって内部に生ずる応力は単位時間当たりの変形率(変形の速さ)に比例する¹⁾。

注入装置を用い造影剤を流す作業は、この単位時間当たりの造影剤の変形率により応力が働きなされるもので、流体の密度、温度、圧力の状態に影響を受ける。また、流体は流体路からの抵抗もあり粘性や摩擦抵抗による運動エネルギーの損失も考えられる。

2-2-1 造影剤の濃度、粘稠度

造影剤の濃度、粘稠度は流体そのものの性質でルー

ト内の圧力に影響を与える大きな要因の一つでもある。造影剤だけの影響を検討するため、造影剤を同一シリンジ(根本杏林堂社製100mlシリンジ)に満たし加温器により造影剤温度34°Cとした。ルート先端には翼状針(21G)を取り付け圧力計はシリンジ先端に接続した。注入装置の速度を可変して注入し、この時のルート内にかかる圧力の最大値を圧力計にて測定した。

2-2-2 シリンジ製造造影剤のシリンジ材質、構造による性能

シリンジだけの違いを検討したかったが、造影剤を一度出し、同一の流体をシリンジに満たすとシリコンなどの潤滑剤の作用によりシリンジ内の流体との摩擦抵抗やピストンとの摩擦抵抗が変わることが考えられる。よって、各種シリンジ造影剤そのままを2-2-1と同様に設置しルート内にかかる圧力を測定した。

2-2-3 注入針の種類

流体は流体路との抵抗がある。ルートチューブや注入針の材質によりルート内にかかる圧力が変わることは予測されるが、ここでは注入針先端のジェット流出の影響を最も受ける注入針の材質によるルート内にかかる圧力の影響を検討した。用いた翼状針(21G)とサーフロ留置針(22G)は、ほぼ同じ内径で2-2-2と同様に設置し各々の各種シリンジ製造造影剤の注入速度と圧力の関係を測定した。

2-3 ピストンとシリンジの摩擦力

流体中の圧力の変化を作り出すのはいつも流体の速度変化と外力である。ここでこの速度変化と外力は一定の力により押し出す注入装置のピストンの動きによ

Fig. 1 Diagram of the experimental location.

り影響を受ける。このピストンがシリンジとの摩擦により一定の力で応答しているか疑問である。

シリンジとピストンの材質や構造により流体を押す力の応答に差があると思われるので、材質の異なるガラス製のシリンジ(イオパミドールシリンジ)と樹脂製のシリンジ(イオベルソールシリンジ)に水を満たし、同じ注入速度(4ml/sec)で注入した時の注入装置の負荷と注入速度を経時的に測定した。

注入装置の負荷は注入装置のモータにかかる抵抗で負荷量に変換して表し、注入速度はモータの回転数から単位時間あたりに換算して表示したものである。

3. 結果

3-1 流体力学による影響

3-1-1 造影剤の濃度・粘稠度による影響

Tableに各種造影剤の濃度・粘稠度を示す。Fig.2からルートにかかる圧力は粘稠度に依存して高くなっている。

3-1-2 シリンジの材質、構造による影響

Fig.3は各種シリンジ製造影剤の違いによるルート内にかかる圧力を測定して得た結果である。

同一シリンジによる各種造影剤の圧力に対する傾向と違い、圧力の変動は多少濃度・粘稠度の影響があるが、それよりもシリンジの違いに大きく左右されていることが分かる。

イオパミドール300シリンジはイオベルソール240シリンジとほぼ同等でルート内圧が低い。イオパミドール300シリンジはTableから構造上、大きな違いといえばガラス製のものであることである。またポリプロピレンを用いたイオヘキソールシリンジもルート内の圧力が少し低い傾向にある。

3-1-3 注入針の種類による影響

Fig.4は翼状針と内径の同じサーフプロ留置針を用いた場合の各種シリンジ製造影剤の注入速度と圧力

の場合のFig.3と比べ最大圧力が低くシリンジの違いによるルートにかかる圧力の変動はないように見える。

ルート内の圧力の観点からすると翼状針よりサーフプロ針を用いた方が圧力が低くなり有利である。

Table Density, viscosity, and structure of contrast media with syringe.

Contrast media	Viscosity (37°Cp)	Density	Ingredients of syringe tube	Ingredients of syringe rubber
iohexol 300	6.1	300 mgI	polypropylene (apply to silicon)	chloroprene-rubber
ioversol 240	2.9	240 mgI	polyphenylene oxide (apply to silicon)	chloroprene-rubber
ioversol 320	5.8	320 mgI	polyphenylene oxide (apply to silicon)	chloroprene-rubber
iomprol 300	4.3	300 mgI	polyphenylene oxide	chloroprene-rubber
iopamidol 300	4.4	300 mgI	borosilicate glass	chloroprene-rubber

Fig. 2 Injection rate vs. pressure of each contrast medium with winged-type (steel) needle.

Fig. 3 Injection rate vs. pressure of syringe injection of contrast medium with winged-type (steel) needle.

Fig. 4 Injection rate vs. pressure with each syringe injection of contrast medium with surf-flow-type (nylon) needle.

Fig. 5 Change in injection resistance and rate with each syringe injection of contrast medium.

Fig. 6 Relationship between injection rate and pressure in clinical examinations.

3-2 ピストンとシリンジの摩擦力による影響

Fig.5はガラス製シリンジと樹脂製シリンジを用いた時の注入速度と注入装置の負荷を経時的にみたものである。注入速度は両者とも全く同じであった。注入装置の負荷は樹脂製のシリンジでは立ち上がりから変動が大きくみられる。一方、ガラス製シリンジは摩擦力による抵抗も少なく一定の圧力で安定した注入ができる。

4. 考 察

ルート内の圧力の上昇に伴い、チューブやシリンジの破損は臨床経験もあり、また臨床におけるルート内圧の実測からも10kg/cm²以上で現象として得られた(Fig.6)。そこでこのルート内の圧力の上昇因子として造影剤、シリンジ、注入針を上げ検討した(ルートチューブの材質によってルート内の圧力が変化することが予想されるが、今回は検討していない)。

実験では注入針を水中の底に固定してルート内の圧力を測定したが、その理由として血管拡張作用(血液より浸透圧の高い造影剤が血管内に一度に注入されると、血管外から血管内に水分の移動が起こり血漿量が増加するために血管が拡張する¹⁾)からなる圧力の減少と血液による造影剤希釈効果がある。実験測定値(Fig.4)は臨床での測定値(Fig.6)とほぼ同様の傾向となったので注入針の後の流体抵抗は考慮しない。

造影剤の濃度・粘稠度が高いと注入装置にかかる抵抗が高まりこれに比例しルート内の圧力は高くなる。

これは、粘性流体は流れと平行な面内に摩擦応力を生じ²⁾、また造影剤分子が固体表面に付着する性質によって、速い流れも壁付近では遅くなり、断面内に速度分布ができる。この速度分布に比例して摩擦抵抗力を及ぼし、一定の速度で押し流されてくる流体が圧力を受ける。Hagen-Poiseuilleの理論式からも流量 V は

$$V = \frac{\pi(P_1 - P_2)}{8\mu L} R^4 \quad (\text{ml/sec})$$

P : 圧力

μ : 粘度

L : 管の長さ

R : 半径

で表され、粘度が増せば圧力差も大きくなる³⁾。

シリンジの材質、構造による影響では実験結果から明らかにイオパミドール300シリンジはルート内の圧力が低い。またガラス製であるこのシリンジを用いた時の注入装置の負荷も低く安定している。材質の違いによる影響において、ガラスと樹脂では摩擦面の粗さ、潤滑の良否に差があると考えられる。

物体が互いに接触しながら相対運動するとき摩擦力が働く。クーロンの法則から最大摩擦力 F の大きさは、

$$F = \mu N$$

μ : 摩擦係数

N : 接触面に垂直に働く力

この摩擦係数は摩擦面の粗さ、潤滑の良否、温度やその他の条件によってかなり変化する⁴⁾。

シリンジ内の表面による抵抗は粘性流体に対してもピストンに対しても関係することだが、結果3-2のピストンとシリンジの摩擦力によるところの力の影響が大きいと思われる。

同じ樹脂製のシリンジでも圧力に差があるのは、シリンジの構造の違いにあると思われる。

ベルヌーイの理論式

$$\frac{1}{2}v^2 + \frac{P}{\rho} + U = \text{const}$$

v : 速度

P : 圧力

ρ : 密度

U : 位置エネルギー

運動エネルギー $((1/2)v^2)$ 、圧力エネルギー (P/ρ) 、位置エネルギー (U) の和である全エネルギーは一定となる²⁾。

ここで流速 v は Q/A で表され管路断面積 A に反比例する。つまり、シリンジの内筒径、シリンジ出口径の違いによっても圧力は変わる。また、シリンジ出口の断面積の急縮小や形状による摩擦損失によっても多少影響を受ける。

以上のことから、結果3-1-1と結果3-1-2での各々のシリンジ製造影剤におけるルート内の圧力の相互関係は、造影剤の粘稠度とシリンジの材質、構造に影響を受けることがいえる。

注入針の種類による影響も検討したが、注入針を翼状針からサーフロ留置針に替えることで針の内径が同じにもかかわらず、ルート内の圧力がかなり低くなることが分かった。これはサーフロ留置針の材質が柔軟で針の膨張により圧力が変わるものと思われる。

安全面から考えると針先の材質が柔軟で膨張や変形の可能性があるので血管に支障を来さないといえないが、Fig.6の臨床経験からも22Gのサーフロ針で3ml/secまでならば注入針に支障を来すことなく安全に注入できる。

シリンジ製造影剤は造影剤の保存容器であり、注入機器の一部でもある。造影剤の変性や保存中の漏れなど薬品容器としての安全面を確保しなければならない。一方でシリンジとして用いる時の安全面や注入時に用いるチューブ、カテーテル、注入針などにより変動するルート内の圧力の問題も含めて、シリンジの性能に関与するこれらの問題は無視できないと思われる。本実験は平成8年4月～10月に行い、平成9年4月にピストンとシリンジの摩擦について補足したものである。平成9年以後、シリンジ製造影剤のシリンジの改良がなされたものもある。

5. 結 語

- 1) 造影剤の粘稠度に比例してルート内の圧力は高くなる。
- 2) シリンジ製造影剤では、ルート内圧の変動はシリンジの材質、構造に大きく左右されることが認められた。特にガラス製のシリンジはルート内の圧力が低く、かつ安定した注入ができる。
- 3) 注入針を翼状針からサーフロ留置針に替えることで針の内径が同じにもかかわらず、ルート内の圧力がかなり低くなることが分かった。
- 4) 経静脈性急速注入(4ml/sec以上)ではシリンジ製造影剤を含めた注入器材全般を慎重に検討する必要がある。また、注入速度3ml/secまでの急速注入では注入針にサーフロ留置針を使用の方が安全性の面から有利であることが示唆された。

参考文献

- 1) 片山 仁：造影検査実践マニュアル. p.148, 医科学出版社, 東京, (1994).
- 2) 内田茂男：流体力学序説. pp.3, 35, 森北出版, 東京, (1990).
- 3) 安藤常世：流体の力学. pp.50, 82, 166, 培風館, 東京, (1984).
- 4) 入江敏博：詳解 工業力学. pp.102-103, 理工学社, 東京, (1983).

図表の説明

- Fig. 1 ルート内の圧力の測定は造影剤シリンジの出口に三方括穿を介して設置した. 測定はデジタル圧力計で測定値は, 圧力の最大値をとった.
- Fig. 2 注入速度対ルート内の圧力(3回測定の平均値)を示したもので造影剤の違い(造影剤濃度, 粘稠度)により異なる.
- Fig. 3 各シリンジ製剤の注入速度対ルート内の圧力(3回測定の平均値)を示したものでFig.2の造影剤そのものの性質に加えてシリンジの性能を加味した比較である.
- Fig. 4 Fig.3では翼状針を用いて測定を行ったが注入針をサーフロ留置針に替えての測定結果である. 注入針をサーフロ留置針に替えることでルート内の圧力(3回測定の平均値)を低くできる.
- Fig. 5 注入装置のモータにかかる抵抗を計測し負荷量として表示し, 同時に注入速度を測定したものである. イオベルソールシリンジ(環状ポリオレフィン系樹脂製シリンジ)とイオパミドールシリンジ(ホウケイ酸系ガラス製シリンジ)に20°Cの水を満たし, 注入速度 4ml/sec注入したときの測定値で表した. 同じ注入速度にもかかわらず, 環状ポリオレフィン系樹脂製シリンジは注入機の負荷が一定でないが, ホウケイ酸系ガラス製シリンジはほぼ一定の負荷により注入されている.
- Fig. 6 臨床検査中でのルート内の圧力を最大値で示した. Fig.1と同様にデジタル圧力計を用いた. ルート内の圧力 12kg/cm²以上のイオヘキソール320シリンジとイオメプロール300シリンジでシリンジの造影剤のピストン側への漏洩, 注入針接合部からの造影剤の漏洩が認められた.
- Table シリンジ造影剤の大きな違いは造影剤濃度(ヨード含有量)と粘稠度である. 粘稠度が高くなる要因としてこの造影剤濃度が高いほど高くなるが, このほか造影剤主成分の分子量が大きい場合, メグルミン塩の割合が多い場合と多少異なる. ルート内の圧力に関与する造影剤の物理的性状は造影剤濃度と粘稠度である. もう一つルート内の圧力に影響する因子としてシリンジの材質や構造の違いによるシリンジの性能が挙げられる.