骨髓内注射に関する基礎的実験

森 田 徹

(京都府立医科大学河村外科教室 指導 河村謙二教授)

BASIC EXPERIMENTS ON INTRAOSSEOUS INJECTION

by

Tohru MORITA

(Department of Kawamura Surgery Kyoto Prefectural Medical University

Director: Prof. K. Kawamura)

Abstract

In order to improve the method of intraosseous injection, the author conducted basic experiments on bones from several parts of the human body in regard to the following points:

- 1) Anatomical features of the blood vessels running through bone.
- 2) Characteristics and limitations of bone from the physiological and physical points of view.
- 3) Measurements of the time needed for drugs infused into the bone marrow to reach the systemic circulation.
- 4) Pathological-histological research on bone when drugs are infused rapidly under high pressure into the bone marrow.

On the basis of the results of these experiments, the author reexamined the usual method of intraosseous injection and reached the following conclusions.

- 1) Drugs infused into tubular bones rarely leave the bone through the osteotrophic

nutrient blood vessel, but mostly through the metaphyseal or epiphyseal nutrient blood vessels.

- 2) Pipe bones require a high minimum injection pressure and have a low maximum one (i.e., pressure at which pain is felt).

- 3) The ilium and ribs are very useful for intraosseous injection since injected drugs reach large veins as soon as they leave these bones.

- 4) The ilium and ribs are also superior to other bones in regard to speed of intraosseous injection.

- 5) Drugs infused through bones require 6.5-16.5 seconds to reach the general circulation. Therefore, intraosseous injection is never inferior clinically to intravenous injection.

- 6) On the basis of these findings, the author has devised a new appliance for more practical intraosseous injection into ribs or ilium.

緒言ならびに文献的考察

骨髓内注射方法の歴史は、大別して3段階に分けられる。

まずはじめには、病理学的検査方法にはじまった。ついで Josefson (1934), Henning (1940), などにより注射療法として取あげられ、治療の目的

に使用された。第3に、最近では、骨髓腔内注射方法により、従隔洞や骨盤腔内などの特殊な内部臓器のX線学的血管造影により、ふたたび診断の目的にまで応用範囲が拡大したような形になっている。

病理学的検査方法は、古くから行われ、pianese

(1908)が大腿骨髓を採取し、Arinkin (1929)は胸骨を穿刺し、Leischmaniosis の原虫を検索せんとした。

治療の目的としては、Josefson (1934)は、悪性貧血患者に肝臓製剤Nagravonを注入し、Henning (1940)は、静注不可能患者に大量の輸血を行ない得ることを提唱し、その方法を精細に発表した。またわが国においてもその頃、勝沼、河石、位田、国枝らにより、さかんに、臨床的にも用いられていた。大越 (1947)は、骨髓内注射方法の安全性と応用の広さを推奨している。

他方、骨ならびに骨髓に関する解剖学的な知識は、Monro (1758)が、顕微鏡やX線撮影の行われておらない時代に、すでに薬液注入によって、骨に出入りする栄養血管の走行を、解剖学書に記載しており、ついで Lexer (1901)により、各種の長管骨、扁平骨内の毛細血管の解剖学的な走行が明らかにされ、これらの血管は、栄養血管を通じて体循環の1部を形成することが詳細に立証された。

これとともに、X線造影法の発達にしたがって Benda (1937)、Henning (1940)により、骨髓内注射の物理学的あるいは生理学的な検討が行われて骨髓内に注入された薬物は、ただちに循環血流内に流入して、大量の薬液であっても静脈注射療法とさほどの相違なく、身体内に利用されることを基礎的実験を基として発表した。

実際上の応用方法や、骨髓穿刺手技に関しては、昔より諸種の試みがなされたが、実際的には、これも、第二次世界大戦の被災者の大量傷者に対する救急処置の必要性から発展した面もあり、Tocantins & O'Neill (1941)、Wile (1942)、あるいは Turkel (1944)などによって、器具の改良が行われ、手技あるいは実施方法が確立された。これらの研究の結果、アメリカ学者間では、Trephyn 型の注射針が愛用され、骨髓穿刺による細骨片が、血行中に流入することの予防によいとせられ、また患者に対する注射針の固定、維持方法なども、それぞれの領域で安全な方法がとられるようになった。

最近 Turkel (1956)は、骨髓内注射方法の利用価値として、静注よりも固定が確実であり、手技が容易で、安全である点から、(1)虚脱時、(2)静脈の狭小な場合、(3)非協力的な患者の場合、(4)大量災害事故の場合、(5)医者不在の箇所における受傷患者や、その結果、動揺する乗り物による輸送中などの場合に骨髓内注射方法の必要性和価値は更に高まると主張している。

以上のように、骨髓内注射方法は、幾多の長所があり、その安全性は幾多の業績により保証され、その実施手技も確立されているにもかかわらず、各国においてはまだまだ十分にこれが普及していないことは遺憾であるが、その原因としては、実際の臨床上において実施するにあたり、なお2、3の短所と、理論上の不安があるためである。

これらの諸点を挙げてみると

1) 骨髓内注射中に、要に応じて、急速高圧注射を行なった場合、注射部位を中心として、激痛を発すること。

2) 骨髓腔内の広さ、あるいは出入する骨栄養血管の解剖学的走行に個人差があって、大量の輸液や輸血をする場合、ある場合には、注入中、注入速度が低下し、初期の目的が達し得なくなることがある。

3) また果して骨髓内に注入した薬液が、静注同様に、ただちに、また全部が全身の循環血流内に流入して利用されるや否やの疑問が残る。

4) 大量反覆骨髓内注射を行なった場合、当該骨髓に何らかの病的所見を与えないだろうか。

5) 急速高圧注入した場合、骨髓内細胞が循環血流中に押出されて、他臓器に何らかの障害を起しはしないかの懸念がないでもない。

以上の観点から、河村外科では、骨髓内注射のこれらの欠点に注目し、その長を延ばし、短を補うために、今いちど骨髓や注射方法を反省し、基礎的な実験から再検討を行なって、改良を加え、われわれ臨床医家の立場から更に広く、臨床上容易に慣用できるものとしたいとの考えから、以下の実験を行なった。

まず、實際上骨髓内注射を行ない得る骨として

は、胸骨、肋骨、上腕骨、腸骨、大腿骨、脛骨を選んだ。文献によると、脊椎骨も利用可能とされ、加うるにソ連 Grosdow の記載によれば鎖骨、踵骨も利用でき得ると述べているが、特に踵骨は骨容積に比して海綿体の形成悪く、50 cc ないし 100 cc の輸注が限度であり、注入速度も遅く、使用に耐えないとされているので、著者はこれらを一応省略することとした。

これらの骨の骨髓腔と骨栄養血管との解剖学的研究より始め、ついでこれらの骨の物理的、生理的注入許容度と、急速加圧注入時の生理学的限界と病理学的所見を検討して、骨髓内注射の適応と限度を規定しようとした。最後に、骨髓内経路で注入した薬剤は、静注により直接に、全身の循環血流中に注入された場合に比較して、その効率において差異なきものかの検討を行なった。

実験方法ならびに結果

I 骨栄養血管の解剖学的所見

1) I の実験方法

動物実験においては、Evans Blue を用いて肉眼的に観察した。

臨床実験では、60%ウログラフィンを用いてX線学的に検討した。

この実験の場合、著者は日常臨床上使用し得る骨として、胸骨、脛骨、大腿骨、腸骨、肋骨を対象とした。

2) I の実験結果

a) 胸骨

胸骨については、Henning、国枝らおよび大越らの文献において十分紹介されているので、重複を避け、文献ならびに著者の結果を略記するにとどめる。

すなわち、胸骨骨髓内に注入された薬液は、胸骨裏面に出て、左右の内胸静脈の胸骨枝に入り、これが各肋間ごとに数本が合して1本ずつとなり梯状に水平に走り、内胸静脈に入り、腕頭静脈を経て、上大静脈に入り、全身循環血流路に参加する。

b) 脛骨

脛骨は、骨幹部の頭側 $\frac{1}{3}$ の所で、背側より1本の太い主栄養血管 *V. nutritia tibiae* があり、こ

れより後脛骨静脈に注ぐのであるが、われわれの通常穿刺部位たる脛骨粗面近くの脛側面で骨髓内注射を行なうと(図1、図2)この主栄養血管を通ることは少く、これに反して骨髓腔内に充満した薬液は、まず頭側 *Metaphysäre Gefässe Gruppe* からの小栄養血管より流出し、細い2本の脛側遠位膝静脈と腓側遠位膝静脈 (*Vv. genus distalis tibialis et fibularis*) を経て、膝窩静脈に流入し、循環系に入る。

かくして、前記の主栄養血管より後脛骨静脈を

図 1

経て循環系に入る経路は、その後で、薬液注入量が増量したり、高圧で注入した時に溢れ出た分がその経路を通して骨髓外に出るのである。以上の事から、われわれが、通常脛骨にて骨髓穿刺を行なう場合、脛側面において実施上行ない易い頭側 $\frac{1}{3}$ あるいはそれより近側を穿刺部位として選ぶが、この場合は、太い栄養血管である所の主栄養血管→後脛骨静脈の経路を通ることが少く、それよりも細く(数は多いが)、繊細な、脛側ならびに腓側遠位膝静脈→膝窩静脈経路をとることがわかった(図3)。

それ故に、われわれが、臨床上、脛骨より骨髓内注射を行なった場合、脛骨は胸骨その他の骨に比較して、割に大きな管状骨であるにもかかわらず、成人に行なった場合でも、時に順調に大量入らないで中止せねばならない事実遭遇することがあるのは、これらの理由によるものと解することができる。

このことを色素注入法によって、動物実験で、肉眼的に観察すると、やはり、人体X線の検査と同様に、脛側ならびに腓側遠位膝静脈→膝窩静脈

図 2

径路の方が主たる径路であり、主栄養血管→後脛骨静脈径路は従である事がよく観察される。

すなわち、脛骨においては、流出路の数は多いが細い径路を経て骨髓外へ流出するという特長は、一旦高圧急速注入、あるいは粘稠な薬液が大量に注入された場合は、時として薬液流出路の閉塞が起り易いことを示唆していると思われる。

c) 大腿骨

大腿骨の解剖学的特長として、背面の大腿骨稜より太い2本の主栄養血管が流入している(脛骨の場合は1本であるが)。すなわち大腿骨の頭側 $1/4$

の所から V. nutritia v. perforans I, 頭側 $2/4$ の個所から V. nutritia v. perforans II が骨皮質を貫通して、骨幹外に出て、ともに平行して頭側に斜めに走り、大腿深静脈 (V. profunda femoris) に入り、ついで大腿静脈に流入する。

ところが大腿骨はその穿刺部位の相違によって、2つの径路をとる。

図 3

- 1 : Metaphysäre Gefäße Gruppe
- 2 : V. genus distalis tibialis
- 3 : V. genus distalis fibularis
- 4 : V. nutritia v. tibialis posterioris

すなわち近側部位として、A大転子下に穿刺した場合と、B遠側部位として、尾側骨幹部で穿刺した場合とは、薬液の流出路が、異なってくる(図4)。

A近側、すなわち大転子下で穿刺すれば(図5)、薬液はただちに、大転子ならびに小転子の Apophyse 系の小栄養血管と頭側 Metaphyse 系の小栄養血管群より出て、脛側大腿回旋静脈ならびに腓側大腿回旋静脈 (Vv. circumflexae femoris tibialis et fibularis) を通り、それより直接に大

腿静脈に注がれる。同じ大腿骨でも、B遠側すなわち、大腿骨骨幹部の尾側の方で穿刺すると(図6)尾側Metaphyse系小栄養血管群より出て、脛側近位膝静脈と腓側近位膝静脈(Vv. genus proximalis tibialis et fibularis)に入り、ついで直接に膝窩静脈に入る。

図 4

- 1 : V. nutritia v. perforans I
- 2 : V. nutritia v. perforans II
- 3 : V. profunda femoris
- 4 : Apophysäre Gefässe Trochanter major
- 5 : Apophysäre Gefässe Trochanter minor
- 6 : Metaphysäre Gefässe Schenkelhals
- 7 : V. circumflexa femoris tibialis
- 8 : V. circumflexa femoris fibularis
- 9 : Metaphysäre Gefässe
- 10 : V. genus proximalis tibialis
- 11 : V. genus proximalis fibularis

以上のごとく(図4)大腿骨においても、A、B両径路ともに、解剖学的な主幹栄養血管(Vv. nutritiae vv. perforans I et II)を通ることなく、いずれも骨幹部部のMetaphyse系、あるいは、Apophyse系の小栄養血管群より出て、それぞれの径路を通り、大量あるいは高压で注入して、はじ

めて主幹栄養血管系より外に出る。このことは、脛骨においても、主幹栄養血管(V. nutritia vv. tibialis posterioris)を通っての径路はあまり使われていなかったこととまったくよく似ている。

d) 腸骨

穿刺部位としては、最も体表面に近く、臨床上行ない易い個所として腸骨前上棘より約5cm背側で、安全圏として腸骨稜より約2cm尾側を穿刺することにした(図7)。

この場合は直ちに太い腸腰静脈(V. ilio-lumba-

図 5

lis)に流出し、上行腰静脈(V. lumbalis ascendens)に集合され、直ちに大きな循環系に到達するという特長がある。

更に、腸骨はいわゆるSpongiöse Knochenの代表的なものであり、その骨皮質に比し、骨髓腔内の広さが比較的大であるという有利な点が骨髓内注射に非常によく適している。

e) 肋骨

わが国では、国枝ら(1941)の詳細な報告があり彼らは肋骨の骨髓穿刺部位の違いによって、つ

ぎの3つの径路のあることを明らかにした。

i. 前胸壁にて肋骨を穿刺した場合は、

図 6

前肋間静脈→内胸静脈→腕頭静脈→上空静脈

ii. 後胸壁にて肋骨を穿刺した場合は、

図 8

図 7

図 9

後肋間静脈→(右は)右縦胸静脈→
→(左は)左縦胸静脈↑

腕頭静脈→上空静脈

iii. その他に第3の径路として,

前肋間静脈→肋腋窩静脈→外側胸静脈→腋窩静脈→鎖骨下静脈→腕頭静脈→上空静脈

以上の3径路である。

著者の実験においては(図8, 図9), 以上3径路ともに認められたが, いずれの場合においても直ちに太い栄養血管を通じて, 直ちに肋間静脈に入る。このことからしても肋骨は骨髓内注射に対しては非常に有利な骨である。ついで国枝のいうiiの径路を通る道程が主流である。著者の行なう穿刺部位は, 乳房線より後方, 主として前腋窩線, あるいは中腋窩線にて肋骨を穿刺する方法が臨床上行ない易いので, この部で穿刺すると, 主としてiiの径路を通ることが多く, 即ち主流は肋間静脈を経て, 右は右縦胸静脈, 左肋骨に注入すれば左縦胸静脈に入って, 腕頭静脈を経て, 上空静脈に入る。そして国枝のiiiの径路を通過するものもみられるが, これは少量のようである。

3) I の小括

以上胸骨, 脛骨, 大腿骨, 腸骨, 肋骨につき, 骨髓内注射を行なって, 色素剤を注入したり, また主としてX線学的な追求を行なって, それぞれの骨の特長と, 流出する栄養血管の通過径路から, 有利, 不利を検討したところ, 従来好んで用いられていた胸骨, 脛骨に較べ, 腸骨ならびに肋骨が優秀であることが分った。

特に, 脛骨, 大腿骨においては, 体表面に近く, またベッド上で最も自然な体位において行ない得て, 臨床上用い易い穿刺部位として, 脛骨にては, 脛側面にて頭側寄りに, 大腿骨においては, 大転子下と, 尾側骨幹の2ヵ所を選んで穿刺部位とすると, いずれの場合も, 解剖学的に考えられていた主幹栄養静脈から流出することは少なく, 主として Metaphyse 系小栄養血管より流出する。すなわち太い静脈幹に到達するまでに一定の距離がある。

これに反して, 肋骨は直ちに太い肋間静脈に入

り, また腸骨は直ちに腸腰静脈に流れ出るという便利な面がある。特に腸骨は, いわゆる Spongiose Knochen の代表的なものであり, その皮質の厚さに較べ, 骨髓腔内の広さの割合は大きく, 骨容積に比して骨髓腔内の容積が大であるので, 薬液を注入された時の受け入れる内腔の包容力にも十分の余裕があると考えられ, 非常に優秀である。

緒言においても述べたように, われわれが実際臨床上において, 大量の薬液を骨髓内注射によって, 注射する場合に, 時として, 一定量以上注入したら, 急に注入速度が低下し, 高圧を加えて無理に入れようとする, 穿刺部位を中心として激痛を発して, さらに追加注射を行おうとしても, それ以上つづけることができなくて, 断念せざるを得ない場合に, しばしば遭遇する。これが骨髓内注射の教科書に記載されざる1つの欠点となっているのであるが, 腸骨をもちいた場合, かかる苦々しい経験は少いものである。以上の事実も, 著者の実験上の結果, その理由が明らかになったことと思われる。

ただし腸骨の場合, 胸骨, 脛骨, 大腿骨などにくらべて, 少々熟練の必要がある。すなわち体表面からは, 少し距離があり, 肥満した人の場合, 特殊な穿刺針を必要とする。また, 肋骨の場合は, 穿通しすぎればその下は胸膜腔であり, 自然気胸などの危険が潜在している。その上, 肋骨の骨皮質は他の骨に較べて薄く, 骨髓径がやや小さいために穿刺も熟練を要し, 穿刺後の固定が十分ではない。このため肋骨穿刺を安全に行なうためには小皮膚切開を加えて行わなければならないという厄介な問題がある。

せつかく優秀な面をもっているが肋骨と腸骨は, 臨床上かかる欠点があるので, つい面倒がられて, 日常利用せられることが少くなったものと思われる。

そこで著者は古くからある佐藤式骨髓穿刺器を改良して, 腸骨のためには, 浅部, 深部両様に用いられる穿刺針を工夫し, 肋骨のためには, 壁側胸膜を傷つけないような特殊の固定器具を製作し

(図10, 11, 12) これをもちいることによって非常な便利を得ているが、この器具については、別稿において詳述しているのでここでは割愛する。

図 10

図 11

図 12

II. 注入速度ならびに注入圧試験

1) IIの実験方法

骨髓内注射を行なう場合、骨髓の物理的な性状を識る

必要がある。

静脈内注射と違って、一定度の圧を加えねばならない。逆に一定度以上の圧を加えると、注射局部に激痛を發する。また更に一定度以上圧を加えると、骨髓細胞が循環系へ押出されて、肺栓塞などで不測の事故を起す場合が生ずる。

これらの限界を知る為、(1) ウサギ、イヌ、ヒトにおいて、骨髓内注射を行ない、点滴セット中に Drop indicator を取付け、イルリガートルをしだいに高く上げてゆき、最初に滴下した時のイルリガートル中の液体の高さを測定して、これを最低注入圧と呼称し、(2) 更にしだいに高圧をかけて行なって、注射部位に疼痛を發する圧を發痛圧、あるいは最高注入圧と呼称した。この実験はヒトにおいてのみ行なった。(3) 動物を使用し、極度の高圧注入を行ない、苦悶状を呈し、数分にて致死せしめる実験を行なった。これを致死注入圧と呼称した。

(4) 最後に、1 mあるいは2 mの至適注入水柱圧で

図 13

行なった時の注入速度(毎分)を測定した。

いずれの場合も骨髓内注射セット回路にマノメーター(図13)(cm Hg)を付して測定するか、骨髓穿刺部とイルリガートル中の、薬液の水位の高さの差(cmH₂O)を測定して記録した。

2) IIの実験結果

a) 最低注入圧試験

主としてウサギを使用して行なった(表1)。

それゆえに、穿刺する骨の大きさに制限があり、上腕骨、大腿骨、脛骨、腸骨に行なった。それぞれの骨に、著者らの改良した前記骨髓穿刺器(図10)を用いて穿刺し、これをイルリガートルをつけた点滴セットに接合して、生食水を満たし、

イルリガートルを骨髓内注射部位より次第に高く持上げて、Drop indicator 中にて、薬液が落下し

表1 最低注入圧試験

cm H₂O

ウサギ 番号 No.	体重, (kg)	性	上腕骨	大腿骨	脛骨	腸骨
75	2.2	♀	35	50	40	
76	2.5	♀	40		100	20
77	2.0	♂	55	60	42	20
78	2.0	♀	53	90	40	
79	2.0	♀	55		75	35
80	2.0	♀	35	55	60	30
81	2.0	♀	70	35	35	28
82	2.3	♀	28	53	40	20
83	2.5	♀	35	45	50	30

管状骨には、ほぼ差はないということがいい得る。しかし1例ずつ、同一ウサギでの成績を比較してみると、3つの管状骨では大腿骨よりは脛骨の方がスムーズに入り、脛骨よりは上腕骨の方がよいように思われる。

これら殆んど差のない3つの管状骨にくらべて、腸骨は最も低い注入圧の値をとっている。すなわち、上腕骨、大腿骨、脛骨の3種の管状骨にくらべて、腸骨は最も優秀であり、Iにおいて既述したごとく、骨髓腔の拡がり、骨髓内注入薬液の流出路の広さにおいて、他骨片に優る結果であらうと思われる。

b) 発痛圧あるいは最高注入圧

正規のごとく著者らの改良骨髓内注射器をもつ

表2 臨床発痛試験

患者名	年齢	性	病名	骨髓穿刺部位	発痛圧 cmHg	副作用
[患者名隠蔽]	60	♂	食道癌	肋骨(左Ⅷ)	80	なし
	67	♀	腹水	肋骨(左Ⅷ)	60	なし
	40	♂	慢性肝炎	肋骨(左Ⅸ)	55	なし
	14	♀	門脈圧亢進症	肋骨(左Ⅹ)	50	なし
	32	♀	パンチ病	肋骨(右Ⅷ)	45	なし
	45	♂	胃癌	腸骨	80	術後一過性 悪感戦慄
	31	♂	肺結核	大腿骨 脛骨	20 25	なし
	55	♀	胃癌	腸骨	45	なし
	45	♀	胃癌	脛骨(腰麻下)	50以上	なし

始める高さを測定し、cm H₂O で記録した。

これを最低注入圧と呼称し、各種骨髓内の注射抵抗圧を測定した。

前記各種の骨の有利さの比較検討のため、なるべく同一実験動物で同時に数個の骨を選んで実験した。

表1のごとく、同じ脛骨、大腿骨であっても、ウサギにより、甚だしく個体差があることは、著者らが、ヒトに対して臨床上遭遇する経験とよく一致する。

少数例であるが、上腕骨、大腿骨、脛骨、腸骨の平均値を比較すると、上腕骨は44.8 cm H₂O、大腿骨は54.7 cm H₂O、脛骨は49.0 cm H₂Oで、

て、所定の骨髓内に注射を行ない、注射回路中にマノメーター(図13)を装置して、しだいに注入圧を上げてゆき、骨穿刺部位を中心とする疼痛を発する時の圧をcm Hg にて記録した(表2)。

疼痛発序には、諸種の因子が加わり、また、疼痛を表現するには動物では不適であるので実験はすべて人体例で行なった。

はじめにことわっておくが、骨髓内注射で患者は疼痛を訴えても、それ以上に高圧を、加えればスムーズに注入する事はできるのであるが、著者は臨床家としての立場上、疼痛を発する以上の高圧で注入してはいけないという意味で、発痛圧をもって臨床上の最高注入圧と仮称したのであ

る。

表2のごとく、やはりこの実験においても個人差は大きく認められる。対象が人体であり、かつまた少数故に、全身状態や、疾患の種類により差があるかどうか、また年齢や性によって差があるかどうかの問題は不明であった。もちろん、骨疾患に関係ある患者は除外した。

肋骨のみを比較しても45 cm Hg圧で既に疼痛を訴えた場合もあり、また倍の80 cm Hg圧まで耐えた症例もあり、個人差が大きく、値もまちまちである。

ほぼ272 cm H₂O 圧となる。すなわち、実際の臨床上においては2.7 cm以内の高さから骨髓内注射を行なっても、骨髓穿刺部位に疼痛は起らないといえる。

この事実を、もう1つ低くみて、骨髓内注射を行なう場合イルリガートルの高さはほぼ2.50 mの高さよりも高くないことが、臨床的な安全圏であるといえる。

c) 致死圧注入

極端に高圧をもって、ウサギに骨髓内注射を行えば、強烈なる激痛発作とともに苦悶状を呈し

表3 骨髓内注入速度

ウサギ番号 No.	体重, 性 (kg)	上腕骨		大腿骨		脛骨		腸骨				
		注入圧（イルリガートルの高さ）										
		100 cm	200 cm	100 cm	200 cm	100 cm	200 cm	100 cm	200 cm			
70	2.0 ♀	12滴/分 25滴/分	15滴/分 140滴/分 9滴/分	4滴/分		4滴/分	6滴/分	60滴/分	92滴/分			
71	2.3 ♀			4滴/分		2滴/分						
73	2.0 ♀											
75	2.2 ♀				100滴/分	177滴/分				17滴/分	48滴/分	
76	2.5 ♀				28滴/分	35滴/分				17滴/分	116滴/分	250滴/分
78	2.0 ♀				7滴/分	35滴/分				48滴/分	50滴/分	38滴/分
79	2.0 ♀	11滴/分	13滴/分			12滴/分	24滴/分					
80	2.0 ♀	22滴/分	54滴/分	22滴/分	44滴/分			48滴/分	105滴/分			
81	2.0 ♀	2滴/分	5滴/分	36滴/分	80滴/分			40滴/分	120滴/分			
82	2.3 ♀	28滴/分	40滴/分	52滴/分	150滴/分	43滴/分	68滴/分					
83	2.5 ♀			16滴/分	40滴/分	22滴/分	55滴/分	55滴/分	150滴/分			
	平均値	16.7	39.4	29.9	80.1	21.1	38.3	59.5	128.2			

しかし、この結果からしても、肋骨ならびに腸骨は、大腿骨や脛骨にくらべて、相当高圧注入によく耐え得る長所がある。

同じ脛骨にしても、第7例(山〇—〇)においては無麻酔下であり、第9例(西〇ト〇子)は腰麻下であり、これを比較すると、腰麻下の方が、高圧骨髓内注射によく耐え得た。この際の疼痛は腰麻下では軽減することも判明した。

また一方、これらの人体における発痛圧試験においては、いずれの骨であっても、20 cm Hgの圧力にての薬液注入においては、皆疼痛発現はなかった。20 cm Hgの注入圧を水柱圧に修正すれば、

て、5分ないし10分間にて致死する。

ただしこの場合は、疼痛による神経性ショックばかりではなしに、後に述べるごとく、肺栓塞あるいは骨髓内細胞がその他の臓器に流出して、いろいろの作用を起すために生ずるものであって、諸々の因子が相重なって致死するのであるから、どの程度の高圧で死亡するかという正確な基準を出すことは至難である。

ただ、後述において、超高圧骨髓内注射によって致死せしめた場合の病理学的な検討を行なった際、時には50 cm Hg圧ぐらいで致死したウサギもあったが、ウサギにおいては70-90 cm Hg圧以上

の高圧注入にて、数分にて死亡せしめ得たとののおまかな記述のみに止める。

d) 骨髄内注入速度試験

II の実験 (1), (2) によって, 50cmH₂O 圧, 少くとも 100cm H₂O 圧を加えれば, 上腕骨, 大腿骨, 脛骨, 腸骨では, どの骨を選んでも骨髄内注射は可能であり, かつ, また, 安全圏では 2.7m 以内であれば, 骨髄穿刺部位に疼痛が出現しないという安全圏が明らかになった。

そこでウサギを用いて, 臨床上慣行し易い高さとして, 1m H₂O, 2m H₂O の 2 種類の高さから各種の骨に対し, 骨髄内注射を行なって, その注入速度を検討した。(表 3)。

この表では, 上腕骨, 大腿骨, 脛骨, 腸骨で行なったものを出したが, これらの骨を比較するために毎分の滴数で表現した。この実験に使用した点滴セットでは 16 滴が 1cc であった。

II のどの実験でもみられたように, 個体差は大きく, 一定ではない。しかしこれらの骨を比較検討することによって, 4 種の骨において, その注入速度において, 個体差の“ばらつき”の具合も検討し, それによって, いずれの骨が実施上個体差も少く, 常にスムーズに注入されて, 利用価値があるかどうかとも検討した。

上腕骨, 大腿骨, 脛骨の場合, 1m H₂O の高さから行なえば, 個体によりまちまちであり, 時には毎分数滴ぐらいで, 殆ど利用価値のないぐらいの注入速度の場合が出てくるが, 2m H₂O の高さにすると, いずれの場合も少くとも, 毎分 1cc, 好適のばあいは毎分 10cc も注入することができて, ほぼ満足すべき値が得られた。

すなわち, 骨髄内注射においては, いずれの骨を使用しても, 1m H₂O 圧以上の高さを必要とする場合が多く, この点, 点滴静注あるいは点滴大量皮下注にくらべて, 煩雑な思いをさせられる。

これら 3 種の管状骨群に反して, 腸骨の場合はいずれの場合も (1m H₂O 圧であっても) スムーズに注入され, そして, 個体差による“ばらつき”も最も少なかった。

以上のごとく, 本項実験においても, 腸骨は, 実に, 骨髄内注射のばあい, 最も優秀な骨であるといえる。すなわち, 注入量に直せば 1m H₂O で 3-4cc/分, 2m H₂O 圧では 6-10cc/分の至適流入速度を得ることが多い。

3) II の小括

骨髄内注射を行うばあいの各種の骨を比較して, 薬液を受け入れる際の物理的な性状を比較検討した。

いずれのばあいにおいても, 上腕骨, 大腿骨は, 臨床上骨髄穿刺可能な, わりあいに体表面に近い大きな管状骨であるが, お互いの間には, 物理的, 生理的にはさほどの差異はなかった。

ところが腸骨の場合は, 最低注入圧, 発痛注入圧 (臨床上最高注入圧), また一定圧による注入速度からみても, 最も優秀であり, 肋骨はこれにすぐことを証明した。

II の実験において, 最低注入圧試験の成績よりやや高圧, 発痛注入圧 (最高注入圧) の最も低かった注入圧よりもやや低圧, という注入圧の範囲内で骨髄内注射を行なうことが, もっとも安全であり, 応用価値が多いと考えればイルリガートルを使用しての普通の点滴セットを付して骨髄内注射を, 持続的に行なう場合は, その高さを 1m ないし 2.7m の間にすべきであるという論理的ならびに, 臨床的根拠があたえられたことと思う。

ただ II の実験においては, 臨床例においては, 胸骨に骨髄穿刺をした上, マノメーターという物物しいものを, 患者の目の前において実験するのに, いかにも実験材料にされたという感を与えることと, 動物実験においては胸骨はあまりにも狭小で, 骨髄穿刺は不可能である事実から, 胸骨を実験材料の対象として使用し得なかったことは残念であった。

注入速度については, Tocantins, O'Neill, Jones らは, 成人胸骨柄, 胸骨体では 0.4-25cc/分, ただし, ショック時に急速注入した時は 43cc/分まで, 注入可能な場合があったとしている。わが国では, 橋本, 方, 両者は, 胸骨に輸血した場合は平均 100cc/6 分であったと記している。佐藤

は、佐藤式骨髓内輸血器具を使用して行なった場合、注入速度は、1.0 cc-4.0 cc/分であったと記している。すなわち各者ともに、個人差があって、その設備や器具の形にも影響されるわけであるが、著者の動物実験では、高さ1 mの水柱圧で、主として生食で測定した場合は、ほぼ1 cc-4 cc/分であり、2 mの水柱圧で行なえば、4 cc-10 ccであった。そして個体差が相当見受られた。

これは骨髓内注射方法の宿命である。

Ⅲ. 循環系内到達時間

1) Ⅲ の実験方法

骨髓内注射と、静脈内注射を比較する場合に、まず考えられることは、静脈注射は、直接に全身循環系へ注射されるに反して、骨髓内注射においては、一旦短時間ではあるが骨髓腔内にプールされて、それから骨外に出て、全身循環系に出て、薬液がその効力を発揮するのであるから、注入された薬液が、骨外に出るまでどれだけの時間が必要なのかを知る必要がある。もしそれが非常に遅ければ、救急の場合、静脈注射や皮下注射にでも劣るのではないか、という危惧がある。

これに関しては文献では、桐原外科で、竹内、宮地らが、50%硫酸Mgを骨髓内に注射して、咽喉頭部に熱感を訴えるまでの時間により測定した事がある。この方法で、胸骨、胫骨、肋骨（第4あるいは第5肋骨で、前腋窩腺において）を比較検討した。

著者は、胸骨、上腕骨、大腿骨、胫骨、腸骨、肋骨と、一応身体において、日常臨床上応用し得ると思われる骨のすべてをえらび、スルファミン法によって、各骨の場合と、静脈注射の場合との差を測定して、比較検討した。

2) Ⅲ の実験結果

ウサギを使用し、まずはじめに、対照実験として、耳静脈に30%アセトスルファミン 1.0 ccをいづれも一定を期して正確に 2.0秒をもって注入し、他側の耳静脈に注射針を挿入し、経時的に1秒ごとに採血し、スルファミン発現時間を測定し、一応、耳静脈→耳静脈における血液循環時間を測定した（表4）。

著者の結果では、表4のごとく、平均 6.5秒であった。

これを対照とし、前記各種の骨髓に対して、Ⅱ

の実験と同様に骨髓内穿刺を行ない、（骨髓内の注射の場合は、アセトスルファミン 1.0 cc 注入には5秒を要した。）対照静脈内注射実験の時とまったく同様に、耳静脈に注射針を挿入して、経時的に1秒ごとに採血し、スルファミン発現時間を測定した。そして得た、骨髓内→耳静脈にて得たスルファミン法による反応時間の差を、各骨髓内注射における循環系内到達時間とした（図14）。

表4 血液循環時間

ウサギ 番号 No.	体重、性 (kg)	注入量 (cc)	注入速度 (秒)	反応時間 (秒)	平均
104	2.4 ♂	1.0	2.0	6.0	6.5
107	2.4 ♂	1.0	2.0	5.0	
111	2.0 ♂	1.0	2.0	7.0	
112	2.2 ♂	1.0	2.0	8.0	
140	2.3 ♀	1.0	2.0	6.0	
141	2.4 ♀	1.0	2.0	6.0	
125	2.5 ♀	1.0	2.0	8.0	
126	2.0 ♂	1.0	2.0	6.0

図14 循環系到達時間

この実験によって明らかなように上腕骨、大腿骨、胫骨、腸骨、胸骨から骨髓内注射を行なった場合を比較しても、それぞれの骨による差は殆どなく、そして同じ上腕骨なら上腕骨の場合を比較しても、その値の“ばらつき”もまったくないにひといひ。

そしていづれの骨においても、循環系内到達時

間（“骨髄→耳静脈”－“耳静脈→耳静脈”）は5.5秒-16.5秒である。すなわち、分の問題ではなく、秒の問題であって、静脈注射の場合と、殆ど変わらないといってもよいぐらいであった。

また、各骨間の相違を強いてあげるならば、脛骨において、循環系内到達時間が少し遅れるようであるが、同じく心臓より遠い位置にある大腿骨においても、他の部位の骨よりかえて早く循環系へ到達している例もあり、これは心臓への距離はまったく問題とならず、かえて各種の骨自身の解剖学的な差異によるものと考えてよい。

3) III の小括

竹内・宮地らは、循環系内到達時間を硫酸 Mg 法で、人体にて測定した結果としては、胸骨においては、静脈に比べ5-7秒遅れて咽喉頭部灼熱感が出る。すなわち、人体では胸骨-骨髄内注射を行なった場合の、循環系内到達時間は5-7秒であったといっている。そして肋骨の場合は7秒-9秒であり、心臓より遠隔部にある脛骨では24-25秒であったと記している。

循環系への到達時間は、著者のウサギにおける実験では、胸骨、上腕骨、大腿骨、脛骨、腸骨と、あらゆる可能な場所に骨髄内注射を行なって、比較検討したが、いずれの場合でも、骨による差や、個体差による“ばらつき”は少く、ほぼ5.5秒-16.5秒の範囲にあった。

循環系内到達時間の点においては著者のウサギにおける動物実験と、竹内らの人体実験との間にさほどの相違はなかった。

しかるに、竹内らの硫酸 Mg 法で、人体で訴えを基にして行なった実験では、胸骨と肋骨と脛骨の間に心臓との距離に比例して、循環系内到達時間に、若干の差が出たのに反し、著者のスルファミン法で、ウサギにて、濾紙上にマークされた結果から、循環系内到達時間を測定すると、前記いずれの骨の間にも、時間の相違はみられなかった。

著者の例では、上腕骨、大腿骨、脛骨、胸骨、肋骨、腸骨には、それぞれ多少の到達時間の差はあったが、これは心臓からの距離が問題となるの

ではなしに、それぞれの骨の解剖学的な差に影響されたものと考えられる。

いずれにしても、骨髄内へ注射された薬液は、せいぜい16秒以内に全身循環血流中に十分に利用されるのであるから、この点、静脈内注射に臨床上では決して劣るものとはいえない。

余談ではあるが著者の臨床経験から、骨髄内注射によって、ラボナール注入して、静脈内注射と殆ど同じ容易さで、全身麻酔の誘導を行ない得たこともあった。

IV. 病理組織学的検索

1) IV の実験方法

骨髄内注射によって、大量の輸液を行なうことは容易なことである。

しかし一歩進んで、手術中の輸液あるいは輸血、または救急処置において、静脈注射に代って骨髄内注射を行なおうとする場合、術中の急激な大出血や、救急の場合に急速に、大量の輸液が必要になった時、すなわち、emergency case の場合に、必要かつ十分な急速高圧輸注ができるかどうかの問題が残る。そして骨髄内注射を行なっている最中に、必要性が生じて急速高圧した場合、骨髄細胞が、骨外に押出されて、他重要臓器に何らかの障害を与えはしないかの危惧がある。

著者はIIの所において、骨髄内注射によって、臨床上急速高圧注入できる限度の大略を細述したつもりではあるが、骨髄内注射を超高圧高速度で行なえば、いかなる障害が惹起されるかという病理組織学的な検討を行なった。

ウサギを使用し、超高圧で骨髄内に生理食塩水を一気に注入すれば、激痛発作とともに、苦悶状を呈して、数分にて致死させることができる。

ただし、このようにしてウサギを致死せしめる場合は個体差はもちろん、諸種の病的因子が総合されて致死するものであるから、一定圧、一定速度によって毎常致死させ得るとは限らない。

著者は脛骨骨髄を対象として選び、これに超高圧高速生食注入を行ない、数分にて致死せしめ得る注入圧力を測定したところ（図15）、1例は50 cmHg 圧で簡単に致死したが、大部分は、70 cmHg 圧以上の高圧を必要とした。

しかし、100 cmHg という超高圧骨髄内注射をしても、必ず100%致死するというわけではない。この Hg 圧を水柱圧になおせば、13 m H₂O 圧という超高圧になる。

この場合も個体差が大きく左右する。

以上のごとくして致死せしめたウサギを、直ちに剖検し、大脳、小脳、延髄、肺、心、肝、脾、膵、腎、副腎を摘出し、いずれも肉眼的所見を検した後、ホルマリン液固定を行ない、法の如く、ヘマトキシリン・エオジン染色を行ない、死因を追求した。

以上いずれの場合も、2.5 kg—3.5 kg の成熟ウサギ

図15 致死圧試験

図 16

を使用した。

2) IV の実験結果

いずれの場合も、数分ないし10分前後で、死亡せしめたものであり、肉眼的所見では、致死と考えられる病的所見は認められなかった。

病理組織学的所見としては、ヘマトキシリン・エオジン染色で検討した。

骨髓内注射された脛骨は、肉眼的にも骨髓穿刺

部を中心として、骨髓は上下に圧排されている。これを組織学的に検すれば、図16に示すごとくである。

病理組織学的所見においても、骨髓腔は、注入薬液によって拡大し逆に、骨髓細胞は、たがいに凝縮して、相互に圧縮されている。時に細胞質が圧排されて、核同志がたがいに密に凝集して、一塊となっているように見える。ところが数分にして致死せしめたものであるから、個々の骨髓細胞

図 17

図 18

は、核ならびに原形質の染色力は衰えているということはない。すなわち、骨髓細胞自体の破壊や、変性にまではいたっていない。

肺の場合は（図17）、肺実質内、特に肺動脈、主に肺静脈、毛細血管内に多数の骨髓細胞、特に骨髓巨核細胞までもが証明される。その上、中等度の量の脂肪が血管内に充満し、これらの細胞で肺血管が各所において閉塞されている状態が観察される。

1部のこれら骨髓細胞は毛細血管外にも溢出し、肺実質は肥厚し、溢血もみられ、従って肺胞容積は全体として小さくなっていることも観察される。

以上のごとく、肺組織所見は、肺栓塞の状態となり、これが瞬間的な致死の原因と考えられる。

脾臓は、その脾赤髄ならびに1部脾濾胞内においても出血斑が認められる(図18)。

すなわち、脾臓のこの病理学的所見は、肺栓塞による窒息死による二次的変化によるものと考えられる。

その他、脳、心筋、肝、腎、副腎には肺栓塞によるあまりにも急激な死亡により、H・E染色下では著明な病的変化を見出すことはできなかった。

3) IV の小括

本実験の場合は、脛骨骨髓内に、生理食塩水を、50 cm Hg-100 cm Hg の超高圧急速注入を行なって、数分ないし10分前後で致死せしめた病理組織学的所見である。

いずれも 2.5 kg-3.5 kg の成熟ウサギを使用したものであって、致死せる場合、大抵は約5 cc前後の生理食塩水の注入で死亡した。

諸家の臨床報告の中には、ショックに陥った小児の症例に骨髓内注射を行ない、急速輸血の必要から、高圧急速輸血をせざるを得なくなり、それでも死亡した症例の剖検結果において、脾臓実質に骨髓巨核細胞がひっかかっているのを発見し、高圧急速骨髓内注射の場合、小循環系をこえて、他臓器にまで、骨髓細胞が溢出する事実をとりあげて、高圧急速注入の害をいましめていたこともあった。

本実験で行なった、急激死実験の結果は、病理組織学的検査では主として肺栓塞の症例しか見出すことができなかった。

本実験の場合の、ウサギの激痛発作と、その際の苦悶状とを観察するに、肺栓塞による窒息ばかりではなしに、他の原因、例えば、脳血管閉塞も1部考えられて当然であるが、数10分以上後に死亡した症例を捨てて、実験例に加えることにしな

かったので、他臓器の病的障害が原因で死亡した因子を拾い上げることができなかった。

すなわち、超高圧急速骨髓内注射によって、急死させた所見からは、骨髓細胞は骨外に押出されて、循環血流中に入り、肺血管を栓塞し、死亡せしめることが分ったが、小循環系をこえて他臓器に対してはいかなる病的所見を与えるかは、また他の方法による実験により、今後の研究にまたねばならない。

ただし本実験において致死せしめた 50 cm Hg-100 cm Hg という高圧は、水柱圧に換算すれば、6.7-13.6 m H₂O となり、これは、臨床上では常識で考えられない圧であるということは併記しておく。

考案

われわれ医師が、骨髓を穿刺する場合は、緒言において、歴史的な考察を加えたごとく、まず最初は Leischmaniosis の検索という病理学的な検査方法に始まり、ついで、著者が検討しようとした輸血、輸液という治療の目的に使用され、ついで特殊臓器のX線学的検査に用いられた。その他に最近では骨髓移植を行うために、骨髓細胞採取の目的で骨髓穿刺が行われる。

他の三つの目的のために行なう骨髓穿刺の場合は、いずれも、1穿刺場所で10 cc前後の薬液の注入か、あるいは逆にその程度の骨髓細胞を吸出するかでことが足りる。

しかるに、Dubuisson-Cristot (1865) が、骨髓腔は骨内の血管を通じて循環系と交通しており、骨髓内に入れられた薬液は静脈注射と同様に、大循環系に直ちに吸収されることを発表して以来、これを治療の目的として、静脈注射同様に各種の薬液をこれから注入しようとする場合、理想とすれば、いくらでも無制限に大量輸注したいという願望が生じてくる。

まだその上に欲がでる。大量に薬液を輸注できるならば、手術中に遭遇する急激な大出血や、失血性ショックの救急治療のように、短時間に急速に輸液する必要が生じた時でも、それに応ずることができれば、骨髓内注射は静脈内注射とまった

く同じ価値を有することになってくる。

その上、骨髄内注射は、静脈内注射にくらべて、修熟さずと誰でも案外に危険なく、容易に行ない得るものであり、注射中の固定は静脈注射の時よりも、強固であるという利点がある。

すなわち、骨髄内注射は、手近に便利な器具がないから、つい億劫であるという既定概念にとらわれていないだろうか。

もし、小児外科、あるいは救急病院などにおいて、各診察場、各病舎に1つずつでも、現在よりもっと便利な骨髄内注射器具を備えるならば、もっと普及しているに違いないと思われる。

しかし緒言で述べたごとく、骨髄内注射方法には、未だなお未解決の五つの不安を述べておいた。

短くいえば

- 1) 骨穿刺部位の発痛
- 2) 骨髄腔内の解剖的な個人差
- 3) 循環系への到達時間
- 4) 骨髄内の損傷
- 5) 急速高圧注入時の他臓器の障害

の五つの問題がある。

著者の目的は、この五つの問題に取り組んで、もう一度基礎的な実験から始め、骨髄内注射方法に新しい見地から、反省と改良を加えようとしたのである。

I と II において、骨の解剖学的な面から、骨栄養血管の走行を再検し、骨の生理ならびに物理学的な面から、注入速度および注入圧試験を行ない、1)、2)の問題点を検討した。

III で、循環系内到達時間を測定して 3)の問題を解決した。

IV で、病理組織学的な方面から、4)、5)の問題を解明しようとした。

まず、I、II において、骨の栄養血管に対する知識は、Lexer, Lanz u. Wachsmuth, 国枝などにより解剖学的、X線学的に知悉されておったのであるが、骨髄内注射を行なった場合は、骨幹の穿刺部位の相違により、各種の径路をとることが分った。

著者は、骨髄内注射を行なう場合、果して、どの骨が適当であるかを主として検討した。従来慣用されている胸骨、脛骨に加えて、大腿骨、上腕骨、肋骨、腸骨などを比較検討した。

ソ連の文献によれば、前記の骨以外に、Grosdow D.M. は、踵骨や鎖骨まで利用したと書いているが、彼自身でさえ、踵骨や鎖骨は、さほど実用的でないといっているのだから、踵骨や鎖骨までは実験の対象としなかった。

胸骨はさておいても、脛骨と大腿骨は、従来記述されていた。解剖学的には割合太い主栄養血管を通して大循環系へ薬液は流入することは少なく、骨端線近くのMetaphyse系の小血管群から流出し、それから数本の小静脈によって集められ、太い静脈に入ることが多いことがわかった。

このことより、骨髄の解剖学的な個人差の問題であるが、われわれが臨床上、胸骨、脛骨、大腿骨に骨髄内注射を大量継続して行なう場合に、時に途中で、つまったような感じがして、スムーズに入らない場合に遭遇するのは、胸骨、脛骨、大腿骨にはこのような解剖学的な欠点があるのが原因となっている。

それに反して、腸骨と肋骨とは、近くにそれぞれ太い血管があり、直ちに腸腰静脈や、肋間静脈に流入する点、優秀な利点をもっている。

故にIIの発痛圧試験においても、腸骨と肋骨は、他の管状骨にくらべて、高圧注入によく耐えている。

このことから考えても、従来慣行の胸骨、脛骨、大腿骨（ともに体表面に近く、骨髄穿刺が非常にやり易いのであるが）において骨髄内注射を行ない、1)あるいは2)の難点が発揚した場合、多少行ない難いが、腸骨あるいは肋骨穿刺に切りかえると、スムーズに目的にかなうばあいが多い。

しかるに腸骨の場合は、体表面から多少の距離があり熟練を要するものであり、肋骨はその後側にある胸膜を破る危険がある。特に後者の場合、安全を期するために、皮膚切開を必要とする。それぐらいなら、血管露出術を行なって、静脈注

射を行なった方がよいではないかということになる。

これには、もっとも安全な器具の工夫が必要である。

故に著者は、成人の骨においても、いかなる硬度の骨においても穿刺できる佐藤式骨髓内輸血器に注目し、これに改良を加えて、腸骨のごとく身体やや深部にある骨に対しては、長、短二様の安全鏝を付した針を作製し、肋骨用には胸膜を破らないで肥骨を把持する器具を試作して、臨床上に用いることとしている(図10, 11, 12)。

注射速度の限界の問題であるが、主としてⅡで骨の生理学的、物理学的な実験をおこなって、最低注入圧としては20 cm-50 cm H₂O 圧でも十分であるが、これでは注入速度からいって十分ではない。有為な注入速度を得るためには1 mあるいはそれ以上の高さを必要とする。これは静注による点滴注射にくらべて、やや高所よりする必要がある、イルリガートル台の改良も必要である。

しかし著者の経験でも、あまり急速注射を必要としない場合には、または20 ccか50 ccぐらいの量の輸注ならば胸骨でも脛骨であっても、骨髓穿刺をし、穿刺針を垂直に立てたまま普通の20 ccあるいは50 ccの注射筒に直接に接続すれば、別に手で圧力を加える必要もなく、注射器内筒の重みだけで自然に注入し得ることは誰しも経験している事実である。この程度の低圧で注入しても十分間に合う程度ならば問題ではない。

ただ、一定時間大量の輸血あるいは輸液を点滴セットを使用して行なうには、この速度よりも速い方が行ない易い。

その場合でも、2.7 m以下の高さならば、どの骨髓を利用して、骨髓穿刺部を中心とした疼痛は発現しないことが分かったので、この高さを臨床上の安全骨髓注射圧と考えてよいと思う。

著者の実験では、1 m H₂O の圧高では個人差はあるが、1-4 cc/分、2 m H₂O の圧高では、ほぼ4-10 cc/分の速度で注入し始め得られた。

2.7 mの高さは数字的には安全圏であるが、實際上、ベットサイドでこれだけの高さを得ること

は不便である。臨床上では1-2 mの高さの間で、要に応じて適宜加減すべきが実用的であると考える。

Ⅲにおいては、3)の循環系への到達時間の問題を検討した。

竹内らの硫酸Mg法によって調べた結果では、骨髓穿刺した骨の種類によって数秒間ではあるが、多少の差はあったと報告しているが、著者が30%アセトスルファミンを、注射してのスルファミン法で、数字的に客観的な方法で実験したところでは、骨の種類による差はなく、ましてや、骨髓内注射に利用した骨と、心臓との距離とも関係はなかった。それよりも強いて差を求めれば、各々の骨の解剖的な相違によって、多少の差はあった。しかしこれも数秒の差であって、いずれの場合でも骨髓内注射を行なった薬液は6.5秒-16.5秒の時間を要して骨外に出て、大循環系に入る。すなわち注射された薬剤は静脈内注射の場合に比して、その効力を発揮するには6.5-16.5秒遅れて発揮するわけである。

いずれにしても3)の問題は“分”の問題でなく“秒”の問題であり、臨床上、なんら差支えのないもので問題とするに足らないことがわかった。

最後に、4)、5)の骨髓内注射を行われた患者に対する悪影響の問題であるが、これは、Ⅳで検討した。

ウサギを数分間の間で致死せしめる程の超高圧、すなわち70-90 cm Hg 圧をもって、致死せしめた剖見所見においても、骨髓腔内の所見としては、なるほど骨髓細胞は一方に押しやられて、凝集しており、骨髓内腔は拡大しているが、各々の骨髓細胞の破壊は殆どなく、染色力の低下もない。

本実験の場合は、1回の超高圧注入の実験であるから、實際上では骨髓細胞破壊に到ることは殆ど考えられない。ただ、頻回の同一骨髓を利用しての骨髓内注射では、慢性のいかなる疾患が生ずるかどうかは、今後の検討に待たねばならない。

1回の注射で即死せしめるような超高圧骨髓内注射によって死亡する原因は、肺栓塞であった。

これよりももっと低い圧であって、しかも他臓器に障害を与えるような、急速高圧骨髓内注射では、骨外に押出された骨髓細胞は、いかなる臓器に、どのような程度の悪影響を及ぼすかということは、非常に沢山の因子が入りこみ、またまた個人差と運命が関係してくるから非常に複雑で、実証も困難である。これもまた今後の研究にまたねばならない。

どちらにしても、前述のように 1 m- 2.7 m H₂O 圧の範囲内なれば、かかる危惧はないと考えられる。

以上各方面から骨髓内注射の安全性、優位性を検討したが、なお一定の限界があるという事実は認めざるを得ない。

その一つは、個人差と、もう一つはどうしても一定時間には一定量以上の急速注入はでき難いという点である。これはもう骨髓内注射の宿命であろうと考えられる。

しかしこの二つの宿命に関しても、前者に対しては、従来慣行の胸骨や脛骨、時には大腿骨に行なって、十分初期の目的を達せられない時は、一応多少面倒であるが、腸骨、あるいは肋骨に切りかえるとよい。

また後者の宿命的な限界に関しては点滴セット中に Y 字管を接合して、同時に 2 種以上の骨を用い、2 ヶ所以上の部位から、骨髓内注射を行なえば、ほぼこれらの難点を補い得るものと思われる。

最後に臨床上の問題で、副作用について述べると、アメリカでは胸骨穿刺により、胸骨を貫通して、心外膜にまで穿刺した 2 例が報告されている。ソ連では、Fraiman S.W. は、骨髓内輸血の合併症に関する報告で、24 名の医師によって、多数の経験例の中から、7 例の骨髓炎症例と、その他少数の縦隔洞炎と軟部組織膿瘍との合併症があったことを報告している。

以上のように、骨髓内注射方法は、临床上においても副作用は少く、また発現した場合でもそれは、たいしたものではない。

著者の症例でも著明な副作用はなかったが、9

例の実験用臨床例においては 1 例の術後の悪感戦慄を見たのみであった。

結語

すでに古くから行われている骨髓内注射方法を、現在の医学上の観点からみて、その諸欠点を補正せんとする目的でいま一度基礎的な面からの再検討を行なった。そしてその長を延ばし、短を補うために、著者は特にその短所に注目し、未解決の 2, 3 の問題に取組み、ここに改良の糸口をみつけようとした。

そこで身体各所の、骨髓内注射可能な骨、すなわち、胸骨、上腕骨、大腿骨、脛骨、腸骨、肋骨に対して、(1)骨に出入する栄養血管の解剖学的な検討。(2)各種の骨の生理的物理的な特長とその限界。(3)骨髓内注射時の薬液の循環系内到達時間。(4)急速高圧骨髓内注射時の病理組織学的な検討。などを以上のごとき項目それぞれについて比較研究し、つぎの結論を得た。

1) 脛骨、大腿骨などの大管状骨に骨髓内注射を行なうと注入された薬液は解剖学的な骨主栄養血管を通して循環系へ入ることは少く、はじめは、主として骨端線近くの Metaphyse 系あるいは Apophyse 系小栄養血管群を通じて循環系に入る。

2) 各種の骨に対して骨髓内への注入圧を測定した結果、前記管状骨は、他の骨にくらべて、最低注入圧も割合に高く、逆に発痛圧は低く、応用の巾が狭い。

3) それに反し、腸骨ならびに肋骨は、骨外に出る骨栄養血管の解剖学的特長からみても、骨髓内注射にとっては非常に有用な骨である。

4) 1), 2), 3) いずれの実験においても、骨髓内注射実験においては、個人差が非常に大きい。

5) 骨髓内薬液注入速度は、これも諸種の条件により大いに左右され、また個体差は大きい。いずれの骨を利用しても、1 m H₂O 圧ではほぼ 1-4 cc/分、2 m H₂O 圧では 4-10 cc/分ぐらいである。

6) 骨髓内薬液注入速度試験においても、腸骨の場合は、個人差による“ばらつき”は少く、また注入速度もスムーズで良好である。

7) 骨髓内に注入された薬液が、循環系内に到達する時間は、いずれの骨の場合においても静脈注射にくらべ、6.5秒-16.5秒遅れる程度であって、この点は臨床上からみれば、なんら静脈注射に対して、遜色は認められない。

8) 高圧急速骨髓内注射の場合も、個体差はあるが、70 cm-90 cm Hg 圧以上というような、臨床上考えられない超高圧注入の場合に、数分にして死亡する。

9) この時の死因は肺栓塞であった。

以上の事実より考えて、臨床上、骨髓内注射を実施するにあたり、改むべき注意事項として、

10) 従来慣行されている胸骨、脛骨、大腿骨などを利用する骨髓内注射を行なっていて、量的に初期の目的を達せられない場合は、注入方法としては多少技術を要するが、これらの場合注入部を腸骨、あるいは肋骨に切り換えれば、巧く目的を達することが多い。

11) 腸骨、肋骨に容易に骨髓内注射を行ない得るために、骨髓内注射器を改良し、試作した。

12) 骨髓内穿刺により点滴注射する場合は1-2 m H₂O の高さよりすることがより合法的であり、かつ安全である。

13) 患者にも骨に個人差があるので、万一の場合を考えて、別個の骨を選び、2ヵ所から同時に行なうと大量輸注は極めて容易となり、救急の処置に際しては、特にその目的に合するものと考える。

以上骨髓内注射方法の実際面において基礎的研究の根拠の下に、2, 3の工夫と新知見を加え得た著者の実験が、骨髓内注射の普及と今後の発展の資料の一端となれば幸甚である。

終始ご指導、ご校閲を賜った恩師河村教授に深く感謝を捧げるとともに、ご教示、ご鞭撻いただいた東講師に厚く感謝する。

文献

- 1) Monro J.A.: Anatomy of Human Bones and Nerves, 1758.
- 2) Dubuisson C.: Recherches Anatomiques et Physiologiques sub la moelle des os Longs, Paris, 1865.

- 3) Langer K.: Über das Gefäßsystem des Röhrenknochen, 1875.
- 4) Lexer E.K. & Turk W.: Untersuchungen über Knochenarterien mittelst Röntgenaufnahmen injizierter Knochen, 1904.
- 5) Doan C.A.: The Circulation of the Bone Marrow, *Contrib. Embryol.*, 14 : 27, 1922.
- 6) Drinkel C.K., Drinker K.R., & Lund C.C.: Circulation in the Mammalian Bone Marrow, *Am. J. Physiol.*, 62 : 1, 1922.
- 7) Josefson A.: New Method of Treatment Intraosseal Injections, *Acta med. Scandinav.*, 81 : 550, 1934.
- 8) Benda R.: Renseignements Fournis Par des Injections Intramedullaires de Sang Humain chez le cobaye, *Sang.*, 11 : 659, 1937.
- 9) Henning N.: Die Intrasternale Injektion als Ersatz für die intravenöse Injektion, *Med. Klin.*, 36 : 724, 1940.
- 10) Tocantins L.M. & O'Neill J.F.: Infusions of Blood and other Fluids into the General Circulation Via the Bone Marrow, Technique and Results, *Surg., Gynec. and Obst.*, 73 : 281, 1941.
- 11) Papper E.M. & Rovenstine E.A.: Utility of Marrow Cavity of Sternum for Parenteral Fluid Therapy, *War Med.*, 2 : 277, 1942.
- 12) Turkel H. & Bethell F.H.: New and Simple Instrument for Administration of Fluids Through Bone Marrow, *War Med.*, 5 : 222, 1944.
- 13) Tarrow A.B., Turkel H. & Thompson M.S.: Infusions Via the Bone Marrow and Biopsy of the Bone and Bone Marrow, *Anesthesiology*, 13 : 50, 1952.
- 14) Churchill E.D.: Modern Surgery in Combat Area with Evacuation Based on Surgical Urgency of Wound, *M. Bull. North African Theat. Op.*, No. 3 1 : 7, 1944.
- 15) Hall W.W. & Bailey F.R.: A New and Simple Instrument for Administration of Fluids Through Bone Marrow, *BUMED News Letter*, 4 : 15, 1944.
- 16) Mc Combs R.P.: Special Treatment Ward for Critically Injured, *N.S. Naval Med. Bull.*, 45 : 717, 1945.
- 17) Wile U.J. & Schamberg I.L.: Pulmonary Fat Embolism Following Infusions Via Bone Marrow, *J. Invert. Dermat.*, 5 : 173, 1942.
- 18) Editorial: Intraosseus Infusions, *J.A.M.A.*, 151 : 1108, 1953.
- 19) Editorials & Comments: Deaths Following Sternal Puncture, *J.A.M.A.*, 156 : 992, 1954.

- 20) Tocantins L.M., O'Neill J.F. & Jones H.W.: Infusions of Blood and other Fluids Via Bone Marrow, Application in Pediatrics, *J.A.M.A.*, 117 : 1229, 1941.
 - 21) Annotations: Blood in Bone, *Lancet*, 252 : 416, 1947.
 - 22) Faxon N.W. & Churchill E.D.: Coconut Grove Disaster in Boston, Preliminary Account, *J.A.M.A.*, 120 : 1385, 1942.
 - 23) Turkel H.: Trephine Technique of Bone Marrow infusion and Tissue Biopsies, ed. 6, Detroit, Mich.
 - 24) Turkel H.: Transfusion by way of bone marrow, *International Medical Digest*: 68 : 117-121, Eeb., 1956.
 - 25) Lanz T. & Wachsmuth W.: *Praktische Anatomie*, Berlin, Verlag von Julius Springer, 1938.
 - 26) Bagdassarow A.A. & Fuljajew A.W.: *Bluttransfusion*, Veb Verlag Volk und Gesundheit, Berlin, 1958.
 - 27) Arinkin: *Fol. Haemat.*, 38 : 233, 1929.
 - 28) Arieff: *Fol. Haemat.*, 45 : 55, 1931.
 - 29) Henning N.: *Dtsch. Med. Wscht.*, 66 (27) : 737, 1940.
 - 30) 竹内司郎・宮地忠雄: 骨髓内血行に関する知見補遺 (附) 骨髓内造影剤注入に依る 静脈撮影法. 日本外科学会雑誌, 42回, 9号, 1558, 1941.
 - 31) 橋本義雄・方錫玉: 骨髓内輸血及び骨髓血輸血の臨床. 台湾医学会雑誌. 41 (1) : 103, 1942.
 - 32) 佐藤清: 予の考按せる骨髓内輸血器. 医科器械学雑誌, 19 (12) : 347, 1942.
 - 33) 橋本義雄・方錫玉: 骨髓内輸血並に薬液注射. 実験医報, 27 (4) : 446, 1941.
 - 34) 国枝武徳, 他: 骨髓 (胸骨・肋骨) 血液環流路. 日本血液学会雑誌, 5 (2) : 101, 1941.
 - 35) 勝沼精蔵, 他: 輸血路並に薬剤注入路としての胸骨穿刺の利用. 診断と治療, 28 (1) : 3, 1942.
 - 36) 小宮悦造: 骨穿刺法. 日本医事新報, 936 : 2965, 1940.
 - 37) 大越正秋: 骨髓穿刺並に骨髓内注射法について. 手術, 1 (8) : 342, 1947.
-