

透性的降低,则是继照光出现纤维化以后的晚期改变。照光后微血管的急性和慢性改变,看来和大多数临床上所见到的放射付作用有关,如肠粘连和肠管吸收功能的改变等。

本文所介绍的研究工作的最初设计,是为了找出大动脉经放射后形态结构的连续性改变,可以看出血管内皮的急性损伤,对于管内血流产生的影响甚小。内皮表面血小板和纤维蛋白积聚的程度和范围,可利用 $^{125}\text{I}$ 标记的纤维蛋白原的吸收量来估计。许多文献报道,大弹性动脉在放射治疗后破裂的发

生率很高,可能和中层细胞的减少和纤维化的增加有关。大动脉急性和慢性的放射后改变,对于伤口愈合的特异性影响,尚未被人们所了解。当前对于测量股动脉照光后的不同时间内,其管壁的抗张强度和致破压力等方面的研究工作正在进展,作者的意见,认为大动脉血管滋养管的放射损伤和管壁中层纤维化的继发性作用,可能是增加血管破裂发生率的部分原因。

(Fonkalsrud EW 等: S G O 145:395~400, 1977

(英文)日坛医院哈献文译 赵惠杨校)

## $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水测定器官血流量

应用示踪剂测定器官血流量是临床医学和基础医学中的一个重要课题。早在1945年Kety就首先报告用 $\text{N}_2\text{O}$ 吸收法测定人脑血流量<sup>[1]</sup>。器官血流量的测定方法有体积描记法(Plethysmography)、超声波、染料指示剂稀释法、放射性微球示踪法以及放射性气体( $^{133}\text{Xe}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 等)洗出曲线法等。其中以 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水经血管注入测绘洗出曲线的方法较为简便<sup>[2]</sup>,应用此法测定肌肉、肾、脑、心肌血流量的报告也较多。我国已可生产 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水,亦有多探头动态功能仪和 $\gamma$ 照相机,国内有些单位正在作肢体肌肉及脑血流量的测定研究工作,本文将有关 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水测定器官血流量的一些国外文献作个综述介绍,以供参考。

### 方法学原理概述

简单地说,应用示踪剂测定血流量是示踪剂稀释技术之延伸,物质守恒(Conservation of mass)原则是其理论基础。采用人体原来没有的放射性标记物进入某器官,再从器官流出物测定此放射性标记物被稀释

的倍数,加以某些系数的校准计算则可求出液流量,而计测流经器官的平均时间可推算出器官容量。由于血液循环,示踪剂在血管内流动较快,而示踪剂在血管外空间的扩散、交换则相对费些时间。这样慢速的交换却可使组织吸收率测定、洗出曲线或平均通过时间测定容易进行。一般地讲,血管内示踪剂测定绝对流量(毫升/分)较好,而容易扩散到血管外间隙的示踪剂(如 $^{133}\text{Xe}$ )则更有利于测定单位质量的器官血流量(毫升/100克/分)<sup>[3]</sup>。

运用示踪剂测定器官血流量有五个理想条件<sup>[4]</sup>:(1)测量时患者血流状态较稳定;(2)示踪剂在相当时间内在组织中分布均匀;(3)示踪剂在毛细血管血液和组织间连续弥散平衡;(4)示踪剂在测量时不代谢变质,它仅由静脉血内去除而无再循环的影响;(5)示踪剂的流出量可由测量静脉流出物的浓度计得,而这静脉流出物仅包含所要研究的那个器官流出的全部血液而不包含由其他组织来的静脉流出物。这五条中的(2)~(4)三条为选择理想示踪剂的条件,(1)、(5)两条是待研究器官状态的考虑条件。

$^{133}\text{Xe}$ 与 $^{86}\text{Kr}$ 等惰性气体压溶于生理盐水中, 可经静脉注入或借助导管置于体内某部位注入待探索的器官中。 $^{133}\text{Xe}$ 不与血中蛋白等物质结合, 不参与化学代谢, 它是脂溶性的, 因此细胞膜的脂类物质对氙不起屏障作用, 氙可自由穿透扩散, 均匀分布在待探索的器官组织中。由于氙几乎全部迅速地自肺毛细血管逸出, 故不再参与循环, 且在组织与毛细血管血液间达到充分扩散平衡, 故其局部清除则可完全为血流速率所决定。氙、氮等惰性气体符合上述理想条件适于作器官血流量测定。由于绝大部分的 $^{133}\text{Xe}$ 随空气逸散, 故不污染注射器针头与皮肤, 但需用密闭装置处理<sup>[1]</sup>。 $^{133}\text{Xe}$ 的 $\gamma$ 射线能量较低, 主要为81千电子伏特, 易于准直, 适于体外测量, 对病人辐射量低, 500微居里的 $^{133}\text{Xe}$ 对生殖器官的照射量仅0.4毫拉德, 对肺为2.5毫拉德。 $^{133}\text{Xe}$ 有气态、液态两种剂型, 可根据需要选用<sup>[2]</sup>。

常用的测定器官血流量的方法有以下两类:

(一) Kety-Schmidt法<sup>[1]</sup>, 根据 Fick 原理, 从注入动脉以示踪剂的0时到t时, 设 $C_A$ 与 $C_V$ 分别代表进入动脉与静脉流出的示踪物浓度, 而 $Q_B$ 为器官摄取示踪物的量, 则以毫升/分为单位的器官血流量为F。

$$F = \frac{Q_B}{\int_0^t (C_A - C_V) dt} \quad (1)$$

设W为器官质量, 则F/W 为单位质量的器官血流量(毫升/克/分)。

$$F/W = \frac{Q_B/W}{\int_0^t (C_A - C_V) dt} \quad (2)$$

氙对血液和各类器官组织的亲和性不一样, 故在某器官与血液间示踪剂的扩散平衡有一较恒定的系数, 称为分配系数(partition Coefficient), 用 $\lambda$ 表示。 $\lambda$ 是器官内示踪剂分布的容量占整个器官容量之比数, 亦为器官组织内示踪剂浓度 $C_B$ 占静脉流出示踪剂浓度的比数。 $C_V(t)$ 为平衡时静脉示踪物

浓度(设经t分钟)

$$\lambda = \frac{C_B}{C_V(t)} = \frac{Q_B/W}{C_V(t)}$$

$$\text{即 } \lambda C_V(t) = Q_B/W \quad (3)$$

将 $\lambda$ 代入公式(2)乘以100(克)则器官血流量(毫升/100克/分)

$$BF = \frac{100 C_V(t) \lambda}{\int_0^t (C_A - C_V) dt} \quad (4)$$

具体作法是: 患者吸入 $^{133}\text{Xe}$ 氙气20分钟, 在此期间可取几次动脉与静脉血标本在井型闪烁计数器中测计数率, 或者用闪烁探头在静脉与静脉外连续测定其血流计数率, 将动脉计数率减去静脉计数率( $C_A - C_V$ )为纵轴, 以时间为横轴, 相应列点画成曲线直至20分钟或计数率为0时, 则此曲线下的面积为 $\int_0^t (C_A - C_V) dt$ <sup>[6]</sup>。各类器官组织的分配系数不同, 且不同的放射性气体以及不同血球压积范围其 $\lambda$ 值也不同,  $\lambda$ 值还与脂质含量有关。一般讲,  $^{133}\text{Xe}$ 渗入骨骼肌的 $\lambda$ 为0.70、心肌为0.72、肾为0.91~0.75、脑为1.15<sup>[7]</sup>。 $C_V(t)$ 可直接测得, 代入公式(4)可求出器官血流量。

(二) 惰性气体洗出(Wash out)技术: 把 $^{133}\text{Xe}$ 压溶于生理盐水中直接注入到肌肉中(如测肢体肌肉血流量)或经导管注入体内某预定位置, 在相当的洗出速度下惰性气体氙极快地弥散到器官组织中, 因此, 在器官中测绘出的洗出曲线就与组织血流量成比例。用体外探测器( $\gamma$ 照相机或多探头功能仪)测绘某器官组织的示踪剂洗出曲线, 由此可推算出每单位容量的血流量(毫升/100克/分)<sup>[8]</sup>。常用的方法有三种:

(1) 初始斜率(Initial Slope)分析法<sup>[8,9]</sup>, 洗出曲线可以有几个不同时相的半洗出期( $T_{1/2}$ ), 第一个时相的 $T_{1/2}$ 多反映器官组织本身成份, 且不受血流再循环的影响, 它可由洗出曲线初始斜率K测计。

$$K = \frac{0.693}{T_{1/2}} \text{器官血流量}$$

$$BF = 100 K \lambda / \rho \text{ (毫升/100克/分)}$$

$\rho$ 为组织的比重,如肌肉为1.05接近1,故也有省去而直接用  $BF = 100K\lambda$  计算的。初始斜率可取注药后0至50秒内测得(如心肌血流量测)。为了求得准确结果,常重复作2~3次,在第一次测定注药后20分钟,器官放射性强度降到峰值的5%以下,这时可再注药作第二次测定。

(2) 推测 (Stochastic) 分析法<sup>[9]</sup>, 如上测得洗出曲线。计算器官血流量公式是:

$$BF(\text{毫升/100克/分}) = \frac{H_{\max} - H_{10}}{A} \times \lambda \times 100$$

$H_{\max}$ 为洗出曲线的最大放射性计数率,  $H_{10}$  为10分钟时放射性计数率,  $A$ 为0~10分时曲线和基线之间积分后的总放射性(纠正本底计数及再循环后),可在整个时间过程(0~10分内)由一定标器进行计数。

(3) 隔段分析 (Compartmental Analysis) 法:如心肌血流量测定,心肌有快和慢两种成份,另有脂肪,这样形成三个半洗出时间:  $I_M$ 、 $II_M$ 、及  $III_F$ ,它在作长时间如30分钟的洗出曲线上分段表现出来。用成行列进路 (On-line access), 将数据输入电子计算机去作隔段性血流计算,可以把洗出曲线分解成两个或两个以上部份,而获得反映快、慢等不同成份的血流量(毫升/100克/分)结果<sup>[8,9]</sup>。

## 临床应用

[ $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水测定肢体血流量]

1964年 lassen 等报告以 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水测定肢体血流量<sup>[2]</sup>,其后至近年国外不断有这方面报导。在各种器官血流量测定中它是最简便的一种。因为它只需要将 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水直接注入肌肉组织内而无须插管。

Lassen等报告的具体方法是,嘱病人坐位,双小腿置于两个闪烁计数器探头之下,探头与计数率仪及记录器联接,每侧于膝上先放置止血带(可用血压计之袖带),在胫

前肌用细针刺入1~2公分深,并注入 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水50微居里/0.1毫升,然后描绘静态曲线5分钟,再将血压计加压至230毫米汞柱,造成短期缺血状态,并作足背屈运动100次(约2分钟),停止运动后松开止血带。继续描绘洗出曲线5~10分钟。

在移至半对数记录纸上可求出  $T_{1/2}$ , 按下式计算:

$$\begin{aligned} \text{肌肉血流量 MBF (毫升/100克/分)} \\ = 100 \times \lambda \times \frac{0.693}{T_{1/2}} \end{aligned}$$

由于肌肉之 $\lambda$ 为0.70,

$$\text{故 MBF} = 100 \times 0.70 \times \frac{0.693}{T_{1/2}} = 48.5/T_{1/2}.$$

若用对数电位计(Potentiometer)记录,则  $MBF = 161 \times D$ ,  $D$ 为记录纸上每分间隔纵轴上的距差,可在记录纸上直接量出。这样在血压计加压前的静止状态所获的  $MBF$  为静态肌肉血流量,而经运动后放松止血带后所获之  $MBF$  为最大肌肉血流量<sup>[3]</sup>。

Alpert<sup>[10]</sup>用踏车来保持运动量恒定,踏车速度为4.6公里/小时,角度为 $+9^\circ$  ( $=16\%$ 上升)。具体作法是:让患者先休息30分钟,并站立车上不动,肌肉注射 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水后静止2~3分钟,其后不断地踏车直至患腿疲乏疼痛为止,一般患者可耐受二分钟踏车,正常对照者则往往需用4分钟。经上述运动后约70%的 $^{133}\text{Xe}$ 由肌肉洗出。踏车运动后受检者仍站立在车上描绘洗出曲线一段时间,按下式计算:

$$MBF(\text{毫升/100克/分}) = 161 \times D$$

上述作者都观测充血时间 $T$ 。在加压造成暂时动、静脉血流停止,此时记录器上呈一平线;松开止血带后,肌肉血流立即加速呈一曲线,其后才呈斜率稳定的直线;这样由曲线开始下降至稳定斜率的直线之始点,其间时距为 $T$ <sup>[2,10]</sup>。

一般作者皆采取胫前肌为注射位,所报

告的正常值如附表,也有测定腓肠肌与手掌鱼际肌(以握拳松开运动)的。Alpert<sup>[10]</sup>报告胫前肌与腓肠肌最大肌肉血流量正常值

分别为 $42.4 \pm 15.6$ 与 $36.7 \pm 15.1$ 毫升/100克/分,两组间无统计学显著差异。

运动程度可影响充血时间T,一般运动

附表 胫前肌血流量的正常值(毫升/100克/分)

作者	年限	例数	静态MBF	最大MBF	T值(分)
Alpert	1966	24	—	$42.4 \pm 15.6$	$1.4 \pm 0.7$
Lassen	1964	23(<50岁)	$2.20 \pm 0.65$	$54.9 \pm 11.6$	$0.37 \pm 0.35$
		21( $\geq 50$ 岁)	$1.96 \pm 0.56$	$51.8 \pm 11.5$	$0.36 \pm 0.25$
Pozderac	1975	15	—	$55.5 \pm 10.7$	—

与剧烈运动血流量可有15~20%误差<sup>[10]</sup>。当 $^{133}\text{Xe}$ 混以去甲肾上腺素100微克/毫升时,可使局部血管收缩,减少静态肌肉血流量<sup>[12]</sup>。

动脉血栓闭塞性脉管炎是一种较为严重的疾患,发展严重时可使坏疽甚至造成截肢(截趾)的后果。许多报导均认为 $^{133}\text{Xe}$ 测定肌肉血流量可以指示脉管炎的状况。Alpert<sup>[10]</sup>报告脉管炎11例,其最大MBF为 $6.4(0 \sim 40)$ 毫升/100克/分,明显低于正常,T值亦延长达 $10.4(3 \sim 21)$ 分。Lassen<sup>[2]</sup>报告脉管炎13例的最大MBF为 $17.10 \pm 9.70$ 毫升/100克/分,亦明显低于正常,但脉管炎10例的静态MBF为 $1.50 \pm 0.70$ 毫升/100克/分,与正常值 $2.20 \pm 0.65$ 毫升/100克/分无明显差异。Lindbjerg<sup>[13]</sup>亦认为静态MBF难以区别正常与脉管炎,最大MBF在研究脉管炎上有一定意义。

Pozderac<sup>[11]</sup>对不同状况的脉管炎患者作最大MBF测定并进行比较:动脉造影证实完全阻塞且无侧枝循环者44个肢体的最大MBF为 $14.8 \pm 6.0(4.1 \sim 25.7)$ 毫升/100克/分;动脉造影证明有动脉阻塞病但侧枝循环较好的9个肢体为 $30.1 \pm 1.8(28.1 \sim 32.6)$ 毫升/100克/分;3例单侧阻塞性脉管炎患者的健肢与另三例可疑而最终否定脉管炎诊断的被检者之最大肢体MBF为 $43.7 \pm 4.0(38.8 \sim 49.0)$ 毫升/100克/分。作者以此测定结果说明 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水测定最大MBF可以定量的表明脉管炎的严重程度,

这在估计预后和观测疗效上有一定意义。

除动脉血栓闭塞性脉管炎外,还可用 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水注入胫骨干骨折周围肌肉中测定MBF来指示肌肉受损血流量改变的程度<sup>[14]</sup>。

测定肌肉血流量还有体积描记法,它指示静态腓肠肌血流量为 $1.9 \sim 3.6$ 毫升/100克/分,最大腓肠肌血流量为 $44$ 毫升/100克/分<sup>[18]</sup>,均与本法结果接近。但 $^{133}\text{Xe}$ 法简便不需校准,计算容易,且肌注无什痛苦,并可有选择地测定区域性肌肉血流量而很少受非肌肉组织的干扰<sup>[2]</sup>。

#### [ $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水测定脑血流量]

1945年就开始有关于 $\text{N}_2\text{O}$ 测定人脑血流量的报告<sup>[1]</sup>。1963年Lassen<sup>[15,16]</sup>报告用 $^{133}\text{Xe}$ 与 $^{86}\text{Kr}$ -生理盐水注入颈内动脉测定人脑血流量。现在少数报告是用 $\gamma$ 照相机联接电子计算机的数据处理系统,或用8~32个探头分别对准头颅的每一截面的单位面积测量区域性脑血流量<sup>[1,18]</sup>。以 $15 \sim 20$ 毫居里 $^{133}\text{Xe}$ 溶于2~4毫升消毒的无热源生理盐水中,“弹丸”式快速注入颈内动脉中,自动描绘出曲线,其中有两个 $T_{1/2}$ ,分别反映脑组织快、慢两种成分:灰质主要含快成分,白质主要为慢成分。则<sup>[6,16]</sup>

灰质血流量(毫升/100克/分)

$$= 100 \times \lambda_{\text{灰质}} \times 0.693 / T_{1/2}^{\text{I}} \quad (1)$$

白质血流量(毫升/100克/分)

$$= 100 \times \lambda_{\text{白质}} \times 0.693 / T_{1/2}^{\text{II}} \quad (2)$$

关于平均脑血流量,Holman报告为

平均脑血流量(毫升/100克/分)

$$= \frac{W_g}{W_t} \times \text{灰质血流量} + \frac{W_w}{W_t} \times \text{白质血流量} \quad (3)$$

$$\text{而 } \frac{W_g}{W_t} = 100 \times$$

$$\frac{I_g/\text{灰质血流量}}{I_g/\text{灰质血流量} + I_w/\text{白质血流量}} \quad (4)$$

$$\frac{W_w}{W_t} = 100 \times \left(1 - \frac{W_g}{W_t}\right) \quad (5)$$

上述  $\lambda_{\text{灰质}} = 0.95$ ,  $\lambda_{\text{白质}} = 0.73$ ,  $W_t$ 、 $W_g$  和  $W_w$  分别代表总脑重、灰质部分脑重量和白质部分脑重量,  $I_g$  和  $I_w$  为在半对数纸上(计数率的对数为纵轴, 时间为横轴)两段洗出线内推到0时与纵轴相交的两个计数率<sup>[6]</sup>。 $W_t$ 、 $W_g$  与  $W_w$  很难在临床上直测, 故需将上述式(4)与式(5)代入式(3)中化简。Lassen<sup>[16]</sup>报告为下式。

平均脑血流量(毫升/100克/分)

$$= \frac{I_1 \times 0.95 \times K_1 + 0.73 \times I_2 (K_1/K_2) \times 13.0 \times K_2}{I_1 + 0.73 \times I_2 (K_1/K_2)}$$

此处  $I_1$  与  $I_2$  相应于上述  $I_g$  和  $I_w$ ;  $K_1 = 0.639/T_{1/2}^I$ ,  $K_2 = 0.693/T_{1/2}^W$ 。上式系用<sup>86</sup>Kr测定推导得的。

Holman以此法测得正常人灰质血流量为78.0~80.5毫升/100克/分, 白质血流量为18.7~21.1毫升/100克/分, 平均脑血流量为50.5±6.2毫升/100克/分<sup>[6]</sup>。Lassen报告正常人平均脑血流量为60±13毫升/100克/分<sup>[16]</sup>。

Paulson用多探头法(如采用八探头则注射<sup>133</sup>Xe1毫居里/2毫升, 如采用16个探头则注射3毫居里/2毫升)的计算公式是

$$CBF_{10}' = 100 \times \lambda \times \frac{H_{\max} - H_{10}}{A_{10}}$$

此处  $\lambda = 1.15$ (平均),  $H_{10}'$  是10分钟时的计数率(计数/分),  $H_{\max}$  是最大计数率(计数/分),  $A_{10}$  是0~10分钟内基线与洗出线之间积分放射性相当于10分钟内定标器集积的计数。Paulson<sup>[7]</sup>报告7例正常人的  $CBF_{10}'$  为50±5.4毫升/100克/分。

前田寿登用日本东芝GCA 202型γ照相机和成行列的DAP-5000N型计算机测定脑血流量, 他将3~5毫居里<sup>133</sup>Xe-生理盐水经插入颈内动脉的导管快速注入, 用初始斜率法, 采取综合灰质与白质, 选用的血液——灰白质间分配系数为0.85, 按公式  $rCBF = 100 \times \lambda \times K$ , 测得脑血流量正常值为53.5~55.6毫升/100克/分<sup>[20]</sup>。Aoyama<sup>[19]</sup>用初始斜率法测得正常值为58.5±7.0毫升/100克/分。可见以上文献报告的正常值都很接近。

脑血流量的正常值还与下列生理因素有关:(1)年龄: Holman报告3~10岁儿童脑血流量为106.4毫升/100克/分, 25岁以内的年青成人脑血流量为60.1毫升/100克/分, 说明正常发育成长的儿童与青年脑血流量较旺盛。(2)运动和情绪激动亦可增加脑血流量<sup>[6]</sup>。

脑血流量在临床应用有以下几个方面:

(1)可以观察脑梗塞、脑缺血, 脑动脉管腔狭窄等脑血管阻塞性疾病的病情。Aoyama<sup>[19]</sup>报告脑梗塞患者脑血流量为36.2±8.6毫升/100克/分, 明显低于正常值。Lassen<sup>[16]</sup>测定8例这类患者之脑血流量为32±7毫升/100克/分, 约为正常脑血流量的二分之一。

近年来国内外正在开展脑血管搭桥术, 这项手术对脑血管阻塞性疾病引起的一过性局部缺血性发作的病人有益, 可给局部缺血的大脑皮质一些额外补偿的血液, 以防止脑软化等不良后果<sup>[21]</sup>。进行手术前要确定患者是否存在显著而又适当的局部缺血病灶区作为手术适应证的选择条件, 术后又要测定该区血流量的改善情况以估计预后, Spatlyer<sup>[22]</sup>报告吻合术后病区血流量达28.2毫升/分者, 则预后良好。

(2)外伤性休克可引起一定程度的脑血流量降低, 严重脑缺血如采取措施不当则预后不佳。Heilbren<sup>[23]</sup>报告用<sup>133</sup>Xe测定轻度休克致暂时性缺血者脑血流量为30.4±

15.6毫升/100克/分,而严重休克时则为 $25.0 \pm 12.4$ 毫升/100克/分。Fish<sup>[24]</sup>报告急性与恶性外伤性休克患者中有83%脑血流量减少,认为从脑血流量的减低程度可以估计外伤性休克的严重程度,也可以作为观察疗效的指标之一。

(3)年老性痴呆,慢性硬脑膜下血肿的脑血流量明显下降,具有交通性脑积水即使颅压正常(正常脑压性脑积水)也可呈脑血流量降低。慢性精神分裂症患者平均脑血流量正常,但在额区血流量下降示其额叶代谢状态较差<sup>[6]</sup>。

(4)研究人体对脑血流量的自主调节功能,由于这种功能,在一定范围内脑动脉压、脑脊液压或脑静脉压的变动可仍使脑血流量控制正常。但在慢性高血压严重发病,多碳酸血症或血管梗阻部位周围充血区出血,以及颅内新生物血管扩张情况下均可使自主调节功能丧失<sup>[6]</sup>。自主调节功能和 $P_{CO_2}$ 浓度有关;Hobson<sup>[25]</sup>报告 $P_{CO_2}$ 低下时脑血流量 $44 \pm 10$ 毫升/100克/分,中等 $P_{CO_2}$ 时脑血流量为 $75 \pm 15$ 毫升/100克/分,而 $P_{CO_2}$ 高时则为 $160 \pm 26$ 毫升/100克/分。

综上所述可知,以 $^{133}\text{Xe}$ 生理盐水测定脑血流量在临床医学和基础医学上都有一定应用价值。

#### 〔 $^{133}\text{Xe}$ 生理盐水测定肾血流量〕

应用放射性示踪剂测定肾血流量的方法有清除提取比值(Clearance extraction ratio)法,指示剂稀释法和惰性气体洗出法等<sup>[6]</sup>。1955年Lassen<sup>[26]</sup>首先报告以 $^{86}\text{Kr}$ 测肾血流量,1963年Kemp<sup>[27]</sup>报告以 $^{133}\text{Xe}$ 洗出法测肾血流量。1974年Grünfeld<sup>[9]</sup>报告的方法是用导管插到肾动脉处或手术暴露肾动脉,将 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水10毫居里/3~4毫升“弹丸”式快速注入肾动脉中, $^{133}\text{Xe}$ 气体逸出并很快弥散到整个肾脏组织中,在组织和血液间达到平衡。以闪烁探头放在前腹壁,晶体中心对准肾区,稍向足部方向倾斜以避免肺部放射性(氩经肺

清除)干扰,描绘出肾血流洗出曲线。肾血流量可按两种公式计算:(1)初始斜率法。 $\text{RBF (毫升/100克/分)} = 100 \times K \times \lambda$ 。肾洗出曲线在注入 $^{133}\text{Xe}$ 后0~40分可分段分析出四种成分;第一成分最快可在注后三分钟测得,主要反映肾皮质;第二成分稍慢,反映皮质,髓质区的毛细血管血流;第三成分更慢,反映髓质血流;第四成分最慢,代表肾门及肾周围组织血流。一般认为<sup>[28]</sup>,肾血流量系指流经肾小球、肾小管的血液总量,不包括供肾包膜组织回到肾静脉之示踪剂,故第四成分也可不计。这四种成分各有其 $T_{1/2}$ ,可求出其 $K$ 值来,并分别计算出各成分的肾血流量,但一般只测第一成分。关于分配系数:用 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水时当血压压在20~40%, $\lambda = 0.91 \sim 0.75$ ;用 $^{86}\text{Kr}$ 时则 $\lambda = 1.05 \sim 0.97$ <sup>[9,27]</sup>。(2)按推测分析法,Grünfeld<sup>[9]</sup>报告的公式是

平均肾血流量(毫升/100克/分)

$$= \frac{\text{最大高度} \times \text{分配系数}}{\text{曲线下面积}}$$

肾血流量的正常值:Blahd<sup>[29]</sup>报告为530(350~770)毫升/100/分;Grünfeld<sup>[9]</sup>报告平均肾血流量为338~455毫升/100克/分,其中第一成分单独测定为403~538毫升/100克/分。Hollenberg<sup>[30]</sup>报告为360毫升/100克/分,并指出成人到40岁平均肾血流量维持恒定。以后每长10岁下降约10%。患者限制钠盐摄入可降低肾血流量,而服钠盐过多则可增加肾血流量。

急性尿少型肾功能衰竭多发生在肾移植后,可并发休克、溶血、尿毒症,这类病人的皮质快成分缺少,因此肾血流量可下降到正常值的 $\frac{1}{3}$ 左右,为 $100 \pm 5$ 毫升/100克/分。

肾移植后发生明显排斥现象时,可呈急性肾皮质坏死,肾血流量可下降到 $36 \pm 5$ 毫升/100克/分<sup>[30]</sup>。

肝肾综合症时尿少、尿内钠盐浓度可低于10毫当量/升,其肾血流量可下降到36~

67毫升/100克/分<sup>[30]</sup>。

慢性肾功能衰竭如慢性肾小球肾炎、化脓性肾炎、多囊肾、糖尿病致肾小球硬化症等患者病重时,其肾小球受损、肾小球滤过率下降,肾的快成分减少,肾血流量也减少<sup>[30]</sup>。

肾动脉狭窄患者轻症时由于肾脏的自主调节功能,其肾血流量可无明显改变,直至动脉腔缩窄到70%以上,肾血流量才有所下降,为 $212 \pm 11$ 毫升/100克/分<sup>[30]</sup>。

上述报导均认为惰性气体洗出法是较实用的方法,可提供人体肾血流分布数据,对各种肾病的功能状况提供分析资料,在治疗过程中提供疗效观察指标,是有一定临床价值的。

#### [ $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水测定心肌血流量]

冠心病的研究逐步深入,加以心脏外科的开展都需要在冠状动脉造影外探求一种不同区域的心肌血流量的定量测定方法,近年来用 $^{133}\text{Xe}$ 测心肌血流量就是这种方法之一<sup>[31]</sup>。

患者取左前斜位, $\gamma$ 照相机的探头斜向足部 $10 \sim 15^\circ$ 角,导管放到左冠状动脉,注入 $15 \sim 20$ 毫居里 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水/2毫升,继以3毫升生理盐水冲刷使 $^{133}\text{Xe}$ “弹丸”式快速进入冠状动脉作洗出曲线,并收取30分钟内数据。 $\gamma$ 照相图证明注入后 $30 \sim 60$ 秒氙在左冠状动脉床分布很均匀,注入后2分钟则影像淡且不均匀,至9分钟时在上缘及内缘清楚分开,各呈一单独的放射性增强影像。把60秒左右造成影像的放射源称为 $I_m$ ,是快成分,其后 $2 \sim 9$ 分成影的放射源为 $II_M$ 是慢成分,这些都是心肌成分,另外还有更慢的 $III_F$ 是脂肪成分。个例测得的 $I_m$ 之 $T_{1/2}$ 为30秒, $II_M$ 之 $T_{1/2}$ 为1分55秒, $III_F$ 之 $T_{1/2}$ 为24.5分<sup>[8]</sup>。可以从这三个 $T_{1/2}$ ,按心肌血流量 $=100K\lambda/\rho$ 公式计算三个数值, $\lambda$ 为0.72, $\rho$ 为1.05。但一般只取 $0 \sim 50$ 秒段 $T_{1/2}$ 计算,因为此段很少受非肌肉组织(如纤维或脂肪)含量的影响,而50秒后则大量示踪

剂到达肺部及胸壁可干扰曲线形态<sup>[4]</sup>。为了使数据准确可靠,可间隔20分后再重复注入 $^{133}\text{Xe}$ 测定,取二次结果的平均值<sup>[8]</sup>。

为了取得心肌不同区域血流量,可使用 $\gamma$ 照相机的廓影器(Cursor)分别放在左、右心的上、下象限处,建立多个等面积区域的洗出曲线比较计算<sup>[8]</sup>。

正常人心肌血流量,Cannon<sup>[4]</sup>报告12例左室为 $61 \pm 6$ 毫升/100克/分,左前降支及左冠状动脉旋支区为61及62毫升/100克/分;See<sup>[32]</sup>报告左室为 $85.7 \pm 7.0$ 毫升/100克/分;Holman<sup>[8]</sup>报告平均血流量为 $76.5 \pm 34.2$ 毫升/100克/分, $I_m$ 、 $II_M$ 及 $III_F$ 则分别为 $97.3 \pm 35.3$ 、 $23.0 \pm 3.4$ 及 $37.9 \pm 6.8$ 毫升/100克/分。

在冠心病方面:Cannon报告梗阻冠状动脉管腔不足50%的10例患者,其左室心肌血流量为 $59 \pm 17$ 毫升/100克/分,19例单纯前降支病变患者,其心肌血流量为 $59 \pm 14$ 毫升/100克/分,均与正常组无显著差异,只有在23例左前降支合并右冠状动脉病变患者,其左室心肌血流量为 $47 \pm 11$ 毫升/100克/分,明显低于正常( $P < 0.01$ ),左前降支梗阻管腔100%的7例患者则为 $53 \pm 8$ 毫升/100克/分,低于正常。说明轻症冠心病患者心肌血流量属正常,重症冠心病患者才可以用此法检出其血流变化<sup>[4]</sup>。Holman报告冠心病患者的隔段血流分析及推算的因数(fractional)血流(=每隔段血流量+总血流量)和相对重量(=每隔段灌注组织的克数+总心肌克数)均与正常组无显著差异;他报告上、下象限的左、右心区心肌血流量之差别百分率在13例冠心病患者中为 $14.4 \sim 18.0\%$ ,较正常组10例的 $3.9 \sim 5.8\%$ 明显加大( $P < 0.001$ ),说明冠心病患者心肌各区域血流分布不均匀,但心肌血流量仍与正常组无显著差别<sup>[8]</sup>。

$^{133}\text{Xe}$ 测定心肌血流量法在临床研究中的价值有一定的局限性和问题,因为:(1)心脏的搏动明显地影响较小区域心肌的洗出测

定,(2)心脏是三向(dimensional)的,某个晶体在一个方向所测出这一区域的血流量容易从另外两个方向受其他区域心肌血流量的影响,(3)在冠状动脉病变状况下血流不均衡,其分配系数也受干扰,不同于正常心肌。综合此三点, $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水测定血流量在冠心病研究上还不是很成熟的方法。

### 小 结

本文介绍了 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水测定器官血流量的方法学原理及其在肢体肌肉、胸、肾、心肌等方面临床应用的一些资料。 $^{133}\text{Xe}$ -生理盐水在我国已可装备,本文作者曾综述运用它测定肺分区功能的一些资料<sup>(33)</sup>,本文的介绍又提供充分运用此放射性示踪剂的其它一些领域资料,可供有关单位参考。

### 参 考 文 献

1. Kety S S, et al: Amer J Physiol 143: 53, 1945.
2. Lassen N A, et al: Lancet 1: 686, 1964.
3. Bassingthwaite J B, et al: Sem Nucl Med 6: 141, 1976.
4. Cannon P J, et al: Sem Nucl Med 6: 279, 1976.
5. Hines H H, et al: J Nucl Med 16: 143, 1975.
6. Holman B L: Sem Nucl Med 6: 233, 1976.
7. Pallson O B, et al: J Nucl Med 10: 164, 1969.
8. Holman B L, et al: Radiology 112: 99, 1974.
9. Granfeld J P, et al: Sem Nucl Med 4: 39, 1974.
10. Alpert J, et al: Circulation 34: 849, 1966.
11. Pozderac P V, et al: Radiology 117: 633, 1975.
12. Bernstein K, et al: Scand J Clin Lab Invest 34: 311, 1974.
13. Lindbjerg I F, et al: Scand J Clin Lab Invest 17: 589, 1965.
14. Holden C E A: Brit Exp Path 55: 466, 1974.
15. Lassen N A, et al: Arch Neurol 9: 615, 1963.
16. Lassen N A, et al: Neurology 13: 719, 1963.
17. Yamamoto Y L, et al: J Nucl Med 17: 546, 1976.
18. Alwood M J: Clin Sci 17: 311, 1958.
19. Aoyama O: Brain Nerve 28: 1207, 1976.
20. 前田寿登等: Radioisotopes 26: 624, 1977.
21. Chater N, et al: J Neurosurgery 44: 712, 1976.
22. Spatzler R, et al: ibid: 45: 508, 1976.
23. Heilbrunn M P, et al: ibid 43: 706, 1975.
24. Fish M B, et al: J Nucl Med 14: 558, 1973.
25. Hobsen R W, et al: Surgery 80: 224, 1976.
26. Lassen N A, et al: Acta Physiol Scand 33: 30, 1955.
27. Kemp E K, et al: Lancet 1: 1402, 1963.
28. 上海中山医院: 核子医学手册 P.139, 1976.
29. Bland W H: Nuclear Medicine P.271, 2nd Ed. 1971.
30. Hollenberg N K, et al: Sem Nucl Med 6: 193, 1976.
31. Parkey R W, et al: Radiology 104: 425, 1972.
32. See J R, et al: Brit Heart J 38: 278, 1976.
33. 朱国泓综述: 国外医学参考资料放射医学分册, 1卷2期8页, 1977.  
(北京朝阳医院同位素室 朱国泓综述 林详通审)