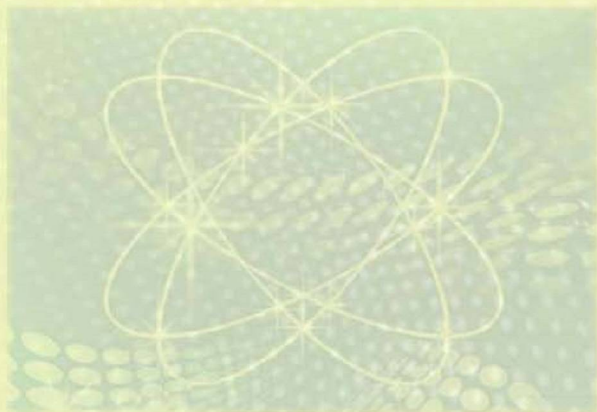


从流体力学角度论血压

董云鹏 海荣 赵凤光 编著



内蒙古科学技术出版社

从流体力学角度论血压

董云鹏 海荣 赵风光 编著

内蒙古出版集团

内蒙古科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

从流体动力学角度论血压 / 董云鹏, 海荣, 赵风光编著.
—赤峰: 内蒙古科学技术出版社, 2013. 11
ISBN 978-7-5380-2377-0

I. ①从… II. ①董… ②海… ③赵… III. ①心血管
流体动力学 IV. ①Q66

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第318429号

出版发行: 内蒙古出版集团 内蒙古科学技术出版社
地 址: 赤峰市红山区哈达街南一段4号
邮 编: 024000
电 话: (0476) 8225264 8224848
邮购电话: (0476) 8224547
网 址: www.nm-kj.com
责任编辑: 季文波
封面设计: 永 胜
印 刷: 赤峰富德印刷有限责任公司
字 数: 120千
开 本: 880 × 1230 1/32
印 张: 5
版 次: 2013年11月第1版
印 次: 2014年1月第1次印刷
定 价: 38.00元

序

关于高血压的研究,近年来在国际上取得了显著的成就,诸如高血压病理生理学、高血压治疗营养学、高血压分子遗传学研究等一系列基础研究均得到深化,并在新的领域如高血压全基因关联研究、高血压计算机网络等方面进行了新的探索,获得了重要的进展。对于高血压的研究,已不仅限于临床诊断与治疗,而是已经全方位地对其流行病学、社会学、统计学、营养学、药理学、遗传学、动物模型学、转化医学等方面进行了深入研究。我们已进入了21世纪,医学科学正在迅猛发展,日新月异。这对我国的医学工作者而言,正面临着新的机遇和挑战。随着我国经济的跨越式发展,人口老龄化进程的超速演变,患高血压等慢性病的人数每年以300万人次的惊人数字增长,这些都为我们提出了众多新的研究课题。在国家“科教兴国”的大政方针指导下,我国的医学科学研究和发展正在努力实现和国际接轨,但是,在许多领域仍然存在不可忽视的差距。重视学习和思考并且应用世界先进的理论与技术,是我们迫切的需要,也是加速我们事业发展,启迪原创性思维的重要途径。

为了让更多的医学工作者了解有关高血压流体动力学基础研究的内容,董云鹏医师等编辑出版了《从流体动力学角度论血压》一书,将高血压流体动力学相关知识介绍给大家。董云鹏主任医师1998年毕业于内蒙古医学院临床医学系,之后一直工作于深圳市保健委员会办公室专家门诊部,具有丰富的保健养生知识和实践经验。他

在多年的临床实践中发现高血压病在中国人群中的患病率非常高，要想系统地、全方位地了解高血压病，单一领域很难真正了解疾病真象，唯有交叉学科研究才能够真正探究疾病本质。本书正是从这个角度出发，将物理学上的一些原理运用于高血压的研究上，从流体动力学角度对人体血压进行分析。

本书兼顾教学性和专业性，每个章节都用相当的篇幅加以介绍，力求使非本专业的读者也能获得整体上的了解。本书不仅适用于心脑血管领域的研究人员和转化医学、交叉医学研究人员，同时还适于心内科专业临床医师应用。

一个国家的强盛、一个民族的复兴不仅需要有现实的基础，更需要她的每一个成员对自己、对自己的民族要有信心。只有每个人不惧艰难，勤于思考，敢于提出自己的观点和假设，我们的民族才能够逐渐形成自身的原创性思维，为中国的医学科学作出应有的贡献。我相信今后的10年，我国高血压交叉学科研究也必将跃上新的台阶。斯以为序。

中华医学会委员 高血压病专家 内蒙古老年研究所所长 高学文

目 录

第一章 血压的决定因素	1
第一节 血压的基准线	1
一、血液循环	2
二、血流符合的定律或定理	3
第二节 脉压差	10
第三节 血压调节系统	15
一、神经调节	16
二、体液调节	19
三、局部血流调节	24
四、动脉血压的长期调节	24
五、血压缓冲系统	24
第二章 血压的标准	30
第一节 高血压指南	30
第二节 有关因素	31
第三节 用公式来计算血压	32
第三章 高血压和低血压诊断标准应该公式化及个性化	37
第一节 高血压诊断的个性化	37
一、经典诊断标准	37

二、笔者对血压标准的看法	38
第二节 低血压诊断的个性化	39
一、绪言	39
二、定义	39
第四章 非正常血压的危害性	40
第一节 高血压的危害性	40
一、表现症状和分类	40
二、高血压的危害	41
第二节 低血压的危害性	42
一、表现症状	42
二、分类	43
三、低血压危害	46
第三节 从血流动力学角度分析血压	47
一、相对血管半径发生变化	51
二、绝对血管半径发生变化	52
第五章 血压诊断	54
第一节 心性血压诊断	55
一、测血压	55
二、检查和询问病史	55
三、体格检查	55
四、实验室及特殊检查	56
五、分类与鉴别	57
六、常见的心血管系统疾病	58

第二节 神经性血压诊断	59
一、诊断	59
二、常见的神经系统疾病	60
三、高血压脑病的鉴别	61
第三节 肾性血压诊断	62
第四节 其他鉴别诊断	63
一、甲状腺功能亢进症（简称甲亢）	63
二、医源性高血压	63
 第六章 治 疗	 64
第一节 高血压的治疗	64
一、血压的影响	64
二、治疗（我们关注点是心、脑、肾）	65
三、目前采取的治疗方式	71
第二节 高血压的影响因素	112
一、血压基准线	112
二、脉压差	114
三、血压调节的决定因素	115
第三节 “高血压病”的用药	116
一、用药	116
二、治疗原则	124
三、生化上的一些机理	124
第四节 高血压的调节	125
一、神经调节	127
二、体液调节	127

三、局部血流调节	128
四、动脉血压的长期调节	128
第五节 高血压的治疗	130
一、“高血压病”的用药	130
二、“高血压”的危害	130
第六节 低血压的治疗	137
一、常规治疗	137
二、病因治疗	138
三、西医治疗	138
四、中医治疗	139
五、低血压的食疗	141
六、预防事项	143
七、保健食品	144
八、老年性低血压防治	144
第七节 展 望	146
一、近期展望	146
二、远期展望	149

第一章 血压的决定因素

血压指血管内的血液对于单位面积血管壁的侧压力,即压强。由于血管分动脉、毛细血管和静脉,所以,也就有动脉血压、毛细血管压和静脉血压。通常所说的血压是指动脉血压。

血压应在以下情况下测得:①测血压前应休息15 min,然后取坐位,测右上肢血压,反复测数次;②由于血压具有明显的波动性,所以应多次不同时期测压;③过去有高血压病史,停止治疗三个月以上,此次测血压正常者,则不应列入高血压;反之,如果一直坚持服药,而此次复查血压结果正常,则仍为高血压。

笔者认为人体首先应该有一个维持生命的血压基准,这个基准线就是理想血压,它是保证人体正常生命活动的前提,是人体生命体征的一个标准。围绕着这个基准线,血压会有所波动。血压的这种波动与调节系统的许多因素有关(如儿茶酚胺、前列腺素、颈动脉的压力和化学感受器、心脏的心房肽、肾脏的肾素、肾上腺的糖皮质激素和盐皮质激素等等),这些因素都会改变血管半径。下面,我们就从血压的基准线、脉压差、血压的调节系统讲起。

第一节 血压的基准线

先举例说明:

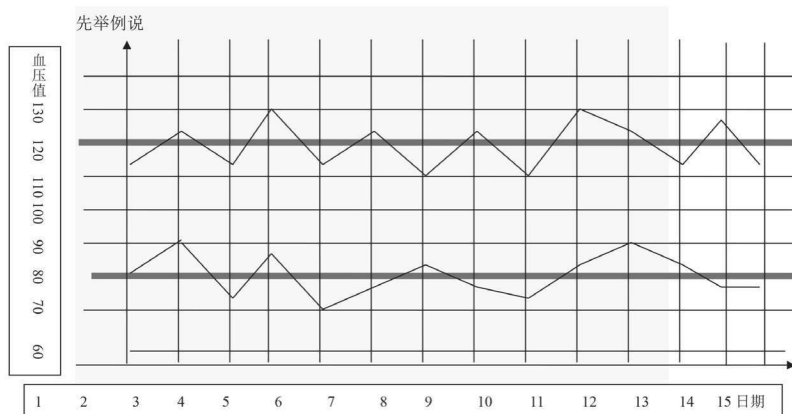


图 1-1

如果说,做一个血压图,如图1-1所示,这个血压基准线就是红线,大约是16/10.6 kPa (120/80 mmHg)。发现每天血压围绕这个基线上下波动。如果波动太大,就证明血压调控缓冲系统受到了一定程度的破坏,我们应该找出原因,进行积极调控,以免影响我们的身体健康。

一、血液循环

在血液循环过程中,就体循环而言,按血管的顺序,血液流经主动脉、中小动脉、毛细血管、小静脉和大静脉,这属于流阻的串联,按各段血管的若干分支或全部体循环的几大分支(头、前肢、后肢、躯干、肝、脾、肾),则又属于流阻的并联,所以血液循环是一个复杂的网络系统。这个网络系统同时与毛细血管并联,与大动脉串联,这就尽量减少了流阻。实验中得出:在动物血管床中,动脉的流阻最大,压强降落最大,毛细血管的流阻及压强降落相对较小,而静脉的流阻及压强降落则更低。

由此,我们可以得出血压的决定因素是动脉,是血液和动脉之间合力造成了肱动脉的压强,毛细血管和静脉对其影响不大。

心脏到肱动脉压力差小,但仍然有压差。因此 Δp (肱动脉到心脏的压力差) $=8\eta lQ/(\pi r^4)$ 。也就是肱动脉的阻力与管道长度 l 及流体黏度系数 η 和血流量成正比,由于距离短,因此,主要与血流量和黏度系数成正比,与血管半径的四次方成反比。由于血管半径是常变化的(尤其是动脉),那么,就会出现血压的波动性。总体上,这个压力和血流量、黏度系数、血流速度有关。 $(qv$ 就等于 $Q)$ 这个压力并不是我们所说的收缩压和舒张压,但它可以影响到心脏的负荷。因此,间接影响了收缩压及收缩压的波动。

二、血流符合的定律或定理

血流是流体,所以可以用流体动力学的伯努利定律(该定律主要是由实验来证实,当然也可以根据能量守恒定律推论出来,这里直接用公式)和泊肃叶定律(该定律主要是由实验来证实)来推论。

(一) 血压是否适用于这两个定律

在流体动力学中,雷诺数是流体惯性力与黏性力比值的量度,它是一个无量纲量。雷诺数较小时,黏滞力对流场的影响大于惯性力,流场中流速的扰动会因黏滞力而衰减,流体流动稳定,为层流;反之,若雷诺数较大时,惯性力对流场的影响大于黏滞力,流体流动较不稳定,流速的微小变化容易发展、增强,形成紊乱、不规则的紊流流场。雷诺数的一般值:主动脉中的血流 $<1 \times 10^3$,而湍流临界值 $<2.3 \times 10^3 \sim 5.0 \times [10^4$ (对于管内流) $\sim 10^6$ (边界层)]。我们看到,血管里血液流动是一种层流状态,是适用于这两个定律的。

(二) 两个流体动力定律在血压中的角色

血压指单位面积血管壁的侧压力, 而这个侧压力, 在同一面积下, 可以用压强来表示, 因为同一高度的压强是相等的。

1. 收缩压符合的定律或定理

我们测收缩压时, 在听诊器中听到肱动脉第一声搏动音时即为收缩压, 这个声音就是心脏传导下来时的声音 (就是说心脏搏动时将血液挤压到动脉时的声音)。肱动脉很接近心脏, 我们近似地把这个压力认为是心脏的压力。这时心脏到肱动脉的压力差, 我们可以忽略不计。

在流体动力学中, 根据伯努利定律描述, 流体是沿着一条稳定、非黏滞、不可压缩, 还有虽然可压缩但流速非常慢的 (因为血流速度远小于1/3的声速) 流线移动行为。

定律假设:

设定: v =流动速度; g =地心加速度 (地球); h =流体处于的高度 (从某参考点计); p =流体所受的压强; ρ =流体的密度。

非黏滞-流体无需抵抗与容器壁之间的黏滞力; 不可压缩-气体因其可压缩性多不依循此定律 (不可压缩性可维持密度不变); 稳定-高速流动会导致紊流的出现。

$$\text{原公式形式 } \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh + p = \text{const}$$

我们知道收缩压是由于心脏收缩时形成, $Ft=mv$ (即冲量等于动量); 单位时间、单位体积内 $m=\rho v$, 也就是说心功能越强, $\frac{1}{2} \rho v^2$ 越大。这个过程符合流体动力学的伯努利定律。

收缩压的主要决定因素是血流速度, 当然还有一些其他因素, 如血液的位能、密度和本身的正常情况等。

收缩压基准线：对于肱动脉血流正常峰值70 cm/s的平方4900 cm/s来说，那么使流速增快的方法是在阻力一定的情况下，通过增加心脏做功的方式来解决。当我们缺少体力活动时，就有可能造成超重或肥胖，BMI也随之显著增高，更主要是血流速度减慢了，就易造成收缩压高。

2. 舒张压符合的定律或定理

舒张压是指当搏动突然变弱或消失时，水银柱所指刻度，也就是说心脏搏动的声音没有阻力传下去时，即 Δp （肱动脉到心脏的压力差）近似肱动脉到心脏的阻力。

（1）先分析静脉。静脉是导血回心的血管，起于毛细血管，止于心房。中心静脉压为4~12 cmH₂O。回心血量多受体循环平均充盈压、心脏收缩力、骨骼肌挤压作用、呼吸运动、体位改变等影响。体静脉中的血液含有较多的二氧化碳。肺静脉中的血液含有较多的氧，血色鲜红。小静脉起于毛细血管，在回心过程中逐渐汇合成中静脉、大静脉，最后注入心房。相对来说，静脉血管不随心脏搏动，所以叫静脉，功能上可起血液储存库的作用，可有效调节回心血量和心输出量。

静脉管壁薄，平滑肌和弹力纤维均较少，缺乏收缩性和弹性，管腔断面较扁。静脉平时容纳全身70%的血液。静脉壁上有静脉瓣，尤其下肢静脉中较多而发达，它能防止血液倒流，使血液向心脏流动。但腹腔内的大静脉，如门静脉、上下腔静脉无静脉瓣，可因腹内压高低影响静脉血回流。

全身的静脉可区分为肺循环静脉和体循环静脉两大部分。

肺静脉左、右各一对，分别为左上、左下肺静脉和右上、右下肺静脉。这些静脉均起自肺门，向内行注入左心房。肺静脉将含氧量

高的动脉血输送到心。

体循环的静脉数量多、行程长、分布广。淋巴液在毛细淋巴管形成后流入集合淋巴管,全身集合淋巴管最后汇合成两条大干,即胸导管和右淋巴导管,它们分别在两侧锁骨下静脉和颈内静脉汇合处进入血液循环。

由于血液自动脉、毛细血管流至静脉时压力已降低,而且大多数静脉位于心平面以下,因此,静脉在维持回心血量与心输出量平衡过程中,不断进化演变,在结构和分布方面形成许多特点:①由小支汇合成大支,最后汇合成大静脉干,其管径越来越大。②静脉壁薄,管腔比同级动脉大,内皮突出形成静脉瓣,瓣膜成对,形似半月状小袋,其袋口朝向心脏,可防止血液倒流,有利于静脉血向心回流。在重力影响较大的下肢静脉中,静脉瓣较多。③体循环静脉分深、浅两类,深静脉位于深筋膜深面与动脉伴行,故称伴行静脉,其名称、行程和引流范围与其伴行的动脉相同,一般中等动脉均由两条静脉伴行,如尺动脉、胫前动脉等两侧都有伴行静脉。浅静脉位于皮下浅筋膜内,又称皮下静脉。浅静脉数目多,不与动脉伴行,有各自独立的名称、行程和引流范围,但最终均注入深静脉,从而进入循环。④静脉之间有丰富的吻合交通支,浅静脉之间,深静脉之间,浅、深静脉之间均存在广泛的交通。一条静脉被阻断后,可借这些交通支建立侧支循环。许多脏器周围都有静脉丛,如膀胱静脉丛、直肠静脉丛等。⑤某些部位静脉结构特殊,如硬脑膜窦,硬脑膜参与窦壁的构成,壁内无平滑肌,腔内无瓣膜,对颅脑静脉血的回流起重要作用。又如板障静脉是颅骨松质内的静脉,与颅内、外静脉相交通。

静脉管分内膜、中膜和外膜三层,但三层膜常无明显的界限。

静脉壁的平滑肌和弹性组织不及动脉丰富, 结缔组织成分较多。

影响静脉压力差的因素很多, 如心脏的收缩力、重力、体位、呼吸运动以及静脉周围的肌组织收缩挤压作用等。

静脉最重要的任务是让血液流回到心脏。在没有血液的时候其腔会倒塌。静脉的最外层也是最厚的, 有骨胶原, 外面包着一层平滑肌, 内部由一层上皮细胞覆盖。大多数静脉内有单向的瓣, 称为静脉瓣膜, 它们防止血液回流, 由于万有引力的作用使得血液流回到四肢。人与人之间静脉的位置比动脉位置的差别要大得多。故由于以上因素, 造成人与人之间静脉压力差的差别也很大。

静脉应力: 静脉的总容量足以容纳一个人所有的血液。通过平滑肌对静脉施加压力(静脉应力), 缩小静脉的切面。覆盖静脉的平滑肌螺旋围绕静脉, 它们有使得血液朝正确的方向流的作用。平滑肌松弛会导致心脏下面的血管充血, 心脏内没有足够的血输出, 导致脑缺血和血管迷走性晕厥。

骨骼肌泵帮助保持静脉系统的血压极低, 使血液回输心脏。长久站立会导致血压太低, 无法回到心脏, 血液会流向腿。虽然大多数静脉运送缺氧的血液, 但是肺静脉运送的是氧丰富的血液。

(2) 再分析血液。人体内的血液量占体重的7%~8%, 血液主要成分为血浆、血细胞。血液中含有各种营养成分, 如无机盐、氧、代谢产物、激素、酶和抗体等, 有营养组织、调节器官活动和防御有害物质的作用。而占45%的血细胞大都是圆形, 血小板体积很小, 一般影响较小, 只有当血细胞变形或数量或比例增加时有所影响。血浆约占血液的55%, 是水、氨基酸、糖类、脂类、维生素、无机盐(钾、钠、钙等)的混合物。血浆中含许多重要物质, 有蛋白质、抗体、激素等, 也包含了许多止血必需的血凝块形成的化学物质, 其中水分

占91%~92%。当其黏稠时,必然有其他成分比例的增加,如血脂。脂质是一大类化学物质,血脂主要包括胆固醇、甘油三酯、磷脂、脂肪酸等。受一些因素的影响,乳糜微粒增加时会黏稠。当胆固醇、甘油三酯比例出现异常,会造成低密度脂蛋白增加或者载脂蛋白B增加,这样会使血管壁粥样硬化。

在流体动力学中,泊肃叶定律 $Q=\pi r^4 \times \Delta p / 8\eta l$,是描述不可压缩的黏性流体在水平圆管中做定向流动,且雷诺数不大,当血液流动的形态是层流时,流量 Q 与管道两端的压力差 Δp 、管道半径 r 、管道长度 l 及流体黏度系数 η 的关系。

泊肃叶定律侧重于阻力:当黏性流体在半径为 r 的圆管中做定向流动时,圆管中流体的总体积流量为 $qv=\pi r^4 (p_1-p_2) / 8\eta l$,这就是泊肃叶定律。

上述公式中, qv 等于 Q 。实验表明,流体在水平圆管中做层流运动时,其体积流量 Q 与管子两端的压强差 Δp ,管的半径 r ,长度 l ,以及流体的黏滞系数 η 有以下关系: $Q=\pi r^4 \times \Delta p / 8\eta l$,令 $R=8\eta l / (\pi r^4)$,即 $Q=\Delta p / R$, R 称为流阻。可对泊肃叶定律作进一步讨论:
①流阻 R 与管子半径 r 的四次方成反比。这说明,管子的半径对流阻的影响非常大。
②流阻 R 与管子的长度 l 成正比。管子越长,流阻越大。
③流阻 R 与液体的黏滞系数 η 成正比。液体的黏滞系数越大,流阻就越大。

由此可见 $\Delta p=8\eta l Q / (\pi r^4)$,泊肃叶定律可以近似地用于讨论人体的血液流动。但应指出,由于血管具有弹性,与刚性的管子不同,其半径是可变的,因此流阻会随血管半径的变化而变化,这一变化也会影响到血液的流量 Q 。

关于血液黏稠力(流体与容器壁之间的抵抗力量),我们提出