

## · 短篇论著 ·

飞行员正向加速度耐力不良与彩色多普勒超声检测  
椎动脉发育异常的关系探讨

陈静 孙莉 杨金霞

**【摘要】** 目的 探讨飞行员正向加速度(+Gz)耐力不良与彩色多普勒超声检测椎动脉发育异常的关系。方法 根据114例歼击机飞行员在+Gz作用下的训练结果,将训练合格者设为耐力正常组,训练异常者设为耐力不良组,用彩色多普勒超声观察比较两组飞行员的椎动脉发育异常情况。结果 +Gz耐力不良组椎动脉发育异常(包括椎动脉走行异常和发育不良)发生率高于+Gz耐力正常组(36.0% vs. 10.9%, 28.0% vs. 6.3%,  $P$ 均 $<0.05$ );双侧走行变异者+Gz耐力不良发生率(87.5%)高于单侧变异者(64.7%),差异有统计学意义( $P < 0.05$ );走行变异的椎间段血管阻力指数(RI)增高,收缩期峰值流速(PSV)降低( $P$ 均 $<0.05$ );而发育不良的椎动脉内径明显小于发育正常者,发育不良椎动脉RI增高,PSV和平均流速(Vm)降低( $P$ 均 $<0.05$ )。结论 飞行员+Gz耐力不良者椎动脉变异发生率较高,椎动脉变异导致的血流动力学改变可能与+Gz耐力不良的发生有关。椎动脉彩色多普勒超声检查可增加招收飞行员的体检项目中,减少因+Gz耐力不良而引发的安全问题。

**【关键词】** 椎动脉; 超声检查,多普勒,彩色; 加速度; 耐力

在航空航天飞行中,飞机速度或航向发生变化时产生加速度,正向加速度(forward acceleration, +Gz)在飞行中最常见。+Gz的定义是由于大小相同,方向相反的加速度而引起的从头到脚的惯性力。歼击机的持续高加速度、高G(gravity, G)增长率(3~6 G/s)和高角加速度的载荷特点,对飞行员的身体要求几乎达到了机体的生理极限,可使飞行员无视觉先兆突发意识丧失,威胁飞行安全<sup>[1]</sup>。飞行员自身+Gz耐力不良是导致加速度所致意识丧失的一个重要因素。因此,对于飞行员+Gz耐力的检测具有重要的意义。+Gz耐力受多种体质因素的影响,我们对歼击机飞行员进行颈部椎动脉血管彩色多普勒超声检查,旨在探讨在颈动脉正常的情况下,椎动脉发育异常与+Gz耐力不良的关系。现报道如下。

### 一、对象与方法

1. 研究对象:2006~2008年在空军航空医学研究所附属医院进行医学鉴定训练的歼击机飞行员114例,均为男性,25~38岁,平均29.7岁,飞行时间530~2800 h,平均1025.6 h。脑电图检查均为正常范围脑电图。心电图检查除1名飞行员为一度房室传导阻滞外,其余均为正常心电图。飞行员血压、心率、血红蛋白、血脂、血糖等指标均在正常范围内<sup>[2]</sup>。根据+Gz耐力训练结果分为耐力不良( $n=50$ )和耐力正常( $n=64$ )两组。两组飞行员年龄、飞行时间比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。

2. 仪器:采用日立公司EUB-6500型彩色多普勒超声仪,7.5~13 MHz宽频线阵探头,椎动脉较深,高频探头探查不满意者,采用2.5~5.0 MHz凸阵式探头。

3. 检查方法:受检者仰卧位,探头分别置于两侧颈部,先显示颈总动脉长轴,再将探头轻度向后外侧倾斜扫查,显示出颈椎的横突,它们呈间断性排列的强回声,后方伴明显声影,横突之间可显示出椎间段椎动脉及浅侧伴行的椎静脉长轴,探头分别向上和向下追踪显示整个颈部椎动脉<sup>[3]</sup>,观察椎动脉走行,记录其入颈椎横突孔的位置,测量其椎间段内径(D),彩色多普勒显示血流充盈情况,将取样容积置于椎间段血管中央,频谱多普勒测量收缩期峰值流速(PSV),平均流速(Vm)及阻力指数(RI)等血流动力学参数。

4. 椎动脉变异的判定及分类方法:(1)椎动脉走行变异:双侧椎动脉自锁骨下动脉发出后未经C6水平入横突孔者为椎动脉走行变异,它们分别于C5、C4、C3水平入横突孔,也有未穿行任何横突孔直接进入颅<sup>[4]</sup>。(2)椎动脉发育不良:椎动脉正常管径多在3.0~4.5 mm;若椎动脉管径 $<2.5$  mm则判为椎动脉发育不良<sup>[5]</sup>。

5. 统计学处理:采用SAS 9.0软件进行数据处理,计量资料以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用 $t$ 检验,率的比较行 $\chi^2$ 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

### 二、结果

1. 彩色多普勒超声检测的椎动脉变异情况:(1)114例飞行员中椎动脉走行变异25例,自C5横突孔进入12例,自C4横

突孔进入9例,自C3横突孔进入4例,左侧13条,右侧20条。其余飞行员的椎动脉均上行入C6横突孔,走行于C1~6颈椎横突孔构成的骨管隧道内。(2)114例飞行员中椎动脉发育不良17例,均为单侧,其健侧椎动脉均有不同程度的代偿性增宽。其中同时存在走行变异和发育不良4例。

2. +Gz耐力不良与椎动脉变异的关系:两组的椎动脉变异情况见表1,由表1可以得出,+Gz耐力不良组椎动脉走行变异、发育不良的变异发生率高于+Gz耐力正常组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。同时存在走行变异和发育不良4例均为+Gz耐力不良。

表1 两组飞行员彩色多普勒超声椎动脉变异检出情况比较[例,(%)]

组别	例数	椎动脉走行异常	椎动脉发育不良	椎动脉正常
+Gz耐力正常组	64	7(10.9)	4(6.3)	53(82.8)
+Gz耐力不良组	50	18(36.0) <sup>a</sup>	14(28.0) <sup>a</sup>	22(44.0) <sup>a</sup>

注:与+Gz耐力正常组比较,<sup>a</sup> $P < 0.05$

3. 双侧与单侧走行变异者+Gz耐力不良发生率比较:114例飞行员中发生走行变异的25例,其中双侧变异8例,单侧变异17例,双侧变异者中+Gz耐力不良者7例(87.5%),单侧变异者中+Gz耐力不良者11例(64.7%),双侧走行变异者+Gz耐力不良发生率高于单侧变异者,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

4. 走行变异椎动脉血管中变异侧与走行正常侧血流动力学参数比较:21例走行变异椎动脉(排除同时存在发育不良的4例)中,走行变异血管数为27条,走行正常血管数15条,两者的血流动力学参数比较见表2。

5. 发育不良椎动脉血管中患侧与对侧血流动力学参数比较:13例发育不良椎动脉血管(排除同时存在走行异常的4例)患侧与健侧的血流动力学参数比较见表3。

表2 走行变异椎动脉血管变异侧与正常侧超声测量血流动力学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	血管条数	D(mm)	PSV(cm/s)	Vm(cm/s)	RI
走行变异侧	27	3.7±0.3	56.1±11.3 <sup>a</sup>	34.2±4.8	0.70±0.03 <sup>a</sup>
走行正常侧	15	3.8±0.4	60.2±12.0	33.4±4.2	0.61±0.05

注:与走行正常侧比较,<sup>a</sup> $P < 0.05$

表3 发育不良椎动脉血管患侧与对侧超声测量血流动力学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	血管条数	D(mm)	PSV(cm/s)	Vm(cm/s)	RI
患侧	13	2.1±0.3 <sup>a</sup>	30.1±11.2 <sup>a</sup>	25.0±4.9 <sup>a</sup>	0.68±0.04 <sup>a</sup>
对侧	13	4.0±0.5	61.2±10.2	32.2±4.1	0.62±0.04

注:与对侧比较,<sup>a</sup> $P < 0.05$

### 三、讨论

加速度中的+Gz因其载荷的G值高,持续时间长,可反复出现,因此对人体的影响最严重。其生理效应主要表现在人体内的组织器官沿惯性方向发生变形、移位及增加重量,导致血流和体液发生惯性转移和重新分布,造成人体的各种生理和机能障碍<sup>[6]</sup>。+Gz耐力是人体生理调节功能和体质或物理因素综合作用的结果,受多种因素影响,要取得多种指标数据进行综合分析十分困难。本研究在确保研究对象基本的生理生化功能指标在正常范围的情况下,从彩色多普勒超声检测椎动脉发育异常的角度,探讨+Gz耐力不良与椎动脉发育异常的关系。结果提示,+Gz耐力不良组椎动脉走行异常与发育不良发生率均高于+Gz耐力正常组( $P < 0.05$ )。同时存在椎动脉走行变异和发育不良的4例均为+Gz耐力不良。走行变异的血管内径与走行正常血管无明显差异,但椎间段PSV较走行正常者低,RI较走行正常者高( $P$ 均 $< 0.05$ );而发育不良的椎动脉内径明显小于发育正常者,椎间段PSV和Vm亦较发育正常者低,RI较发育正常者高( $P$ 均 $< 0.05$ )。提示椎动脉变异可能因血管血流动力学的改变而引发+Gz耐力不良。

椎动脉走行异常可能与+Gz耐力不良存在一定关系,其原因可以从以下方面进行分析:椎动脉自锁骨下动脉发出后,在由颈椎钩突、横突孔、骨膜以及关节囊相互延续形成的纤维筋膜鞘样结构中上行,而且在钩突与椎动脉外膜之间还存在一些纤维结缔组织连接,Ebranhein等<sup>[7]</sup>称之为钩突-椎动脉-脊神经复合体,这种复合体对椎动脉起一定的限制和保护作用。当椎动脉椎间隙段走行变异时,因起始段游离过长,相对失去了横突孔的骨性保护,所以更容易受相邻组织活动的影响,包括骨性组织与软组织的牵拉及挤压移位等<sup>[8]</sup>。因此,当人体在+Gz作用下,体内的组织器官沿惯性力的方向发生变形时,椎动脉受压明显,管腔内径减少,引发椎动脉血流动力学异常,从而导致后循环椎-基底动脉供血不足,引起短暂性脑缺血发作<sup>[9]</sup>,最终导致+Gz耐力不良。此外,椎动脉对引起牵拉的头颈部运动较为敏感,对走行变异的椎动脉而言,由于其脱离了钩突-椎动脉-脊神经复合体等的保护作用,位于横突孔之外,故受到牵拉时其敏感性增加。牵拉使椎动脉管壁外的交感神经丛受到激

惹,引起椎动脉功能性痉挛,使椎动脉的血流量减少,继而产生供血异常<sup>[9]</sup>,导致+Gz耐力不良。由于个体之间对牵拉的敏感性存在差异,因而+Gz耐力训练结果也存在一定的差异,对照组中有7例飞行员椎动脉走行异常,但+Gz耐力训练正常。

此外,本研究还发现双侧走行变异者+Gz耐力不良发生率高于单侧变异者( $P < 0.05$ ),这可能是由于双侧变异者椎动脉暴露在骨性保护结构外面的长度更长,在颈部转动的时候比单侧变异受外部结构牵拉挤压的机会更多,从而导致椎动脉供血不足情况更严重,引发+Gz耐力不良的概率更大。本研究走行异常的患者中,低位变异者(自C5/C4横突孔进入)较多,这与以往研究结果相似<sup>[8]</sup>。因本组高位变异者(自C3及以上横突孔进入)例数较少(4例),故未行高位与低位走行变异者+Gz耐力不良发生率比较。但从理论上推测椎动脉进入横突孔位置越高,起始游离段越长,受邻近组织影响和牵拉挤压的可能性越大,+Gz耐力不良发生率越高。这有待于进一步的大样本的研究证实。

椎动脉发育不良者血管血流动力学参数与发育正常者有显著差异,发育不良椎动脉血管阻力增加,PSV和Vm降低,从而导致单位时间血流量较正常血管减少。平时一侧椎动脉发育不良者可无任何临床症状,但当机体处于特殊状态(+Gz作用)下另一侧椎动脉失代偿时,就会导致椎-基底动脉供血不足,引发短暂性脑缺血发作,最终导致飞行员+Gz耐力不良。

近年来,由于国内外高性能战斗机的出现,+Gz引起的意识丧失发生率日益增高。为减少+Gz引起意识丧失导致的严重的飞行事故,对影响+Gz耐力的多因素进行研究应引起重视。彩色多普勒超声检查能清晰准确显示颅外段椎动脉走行、内径、血流情况并测量相关血流参数,以及其具有廉价、无创、易行等优势,可以增加至招收飞行员的体检项目中,以选拔更加合格的飞行员,减少安全隐患。

## 参 考 文 献

- [1] 梁雪清,罗超权,刘丽,等. 离心机训练后+Gz耐力相关基因的分离与鉴定. 中国生物化学与分子生物学报,2003,19:245-249.
- [2] 肖晓光,郑军,邓方明,等. 飞行员加速度耐力与某些临床指标的相关性分析. 中国航空航天医学杂志,2004,15:70-73.
- [3] 李治安,李建国,刘吉斌,等. 临床超声影像学. 北京:人民卫生出版社,2003:1500-1519.
- [4] 何文,张红霞,邬冬芳. 颈动脉彩色多普勒超声与临床. 北京:科学技术文献出版社,2007:105-119.
- [5] 赵凯军,葛立本,潘义,等. 超声用于椎动脉发育不良的检测. 中国实验诊断学,2006,10:835-836.
- [6] 《航空医学》编委会. 航空医学. 北京:人民军医出版社,1992:179-225.
- [7] Ebraheini NA, Lu J, Haman SP, et al. Anatomic basis of the anterior surgery on the cervical spine relationships between uncus-artery-root complex and vertebral artery injury. Surg Radiol Anat, 1998, 20:389-392.
- [8] 范炳华,吴良浩. 椎动脉入横突孔位置异常与眩晕的关系. 中国中医骨伤科杂志,2005,13:1-3.
- [9] 孟秀峰,华扬,凌晨,等. 超声检测分析椎动脉走行变异与眩晕发作的关系. 中国脑血管病杂志,2007,4:458-461.

(收稿日期:2011-03-30)

(本文编辑:张岚)

陈静,孙莉,杨金霞. 飞行员正向加速度耐力不良与彩色多普勒超声检测椎动脉发育异常的关系探讨[J/CD]. 中华临床医师杂志:电子版,2011,5(8):2391-2393.