

· 论 著 ·

# 高空电磁辐射对运输机飞行员免疫球蛋白与补体的影响

晏雪婷, 程苏琴, 朱美财, 孙绍权

**[摘要]** **目的** 研究飞行环境中高空电磁辐射对运输机飞行员外周血免疫球蛋白(IgG、IgA、IgM)和补体(C3、C4)水平的影响,以及飞行时间与各指标的相关性。**方法** 检测 120 名运输机飞行员(观察组)和 100 名地勤工作人员(对照组)外周血免疫球蛋白和补体水平。按飞行时间将运输机飞行员分为 4 组,分别与对照组进行比较,并分析飞行时间与各指标的相关性。**结果** 与对照组相比,运输机飞行员的 IgG、IgM 水平降低,C3、C4 水平增高( $P < 0.05$ ),IgA 的差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。飞行 < 1000 h 组的 C3、C4 水平增高;1000 ~ 1999 h 组的 IgG 水平降低,C3、C4 增高;2000 ~ 3000 h 组的 IgG 水平降低;> 3000 h 组的 IgM 水平降低,C3、C4 增高( $P < 0.05$ )。飞行时间与 IgM 水平之间存在一定的相关性( $r$  为  $-0.154$ ,  $P < 0.05$ ),模拟出幂函数模型  $Y = 1.904(X - 0.094)$ ,与其他指标之间无相关性。**结论** 高空飞行环境下,运输机飞行员的免疫指标会发生改变,IgG、IgM 降低,C3、C4 增高,并且 IgM 随着飞行时间的增加而降低。

**[关键词]** 电磁辐射;运输机;飞行员;补体;免疫球蛋白

**[中图分类号]** R446.62;R594.8 **[文献标志码]** A **doi:**10.3969/j.issn.1672-271X.2015.04.001

## Effects of electromagnetic radiation on the immunoglobulin and complement of transport pilots

YAN Xue-ting, CHENG Su-qin, ZHU Mei-cai, SUN Shao-quan. Clinical Laboratory Center, Air Force General Hospital, Beijing 100142, China

**[Abstract]** **Objective** To study the effects of electromagnetic radiation in flying environment on the immunity indexes (IgG, IgA, IgM, C3 and C4) of transport pilots in peripheral blood and correlation analysis of flight time with each index. **Methods** The immunoglobulin and complement of 120 transport pilots and 100 ground workers were detected. According to the flying time, transport pilots were divided into 4 groups, respectively: flying below 1000 h group, 1000 - 1999 h group, 2000 - 3000 h group and group above 3000 h. For all above ground, the ground staffs were used as control. The correlation between flight time and each index were analysed. **Results** Compared with the control group, IgG and IgM of the transport pilots decreased, C3 and C4 increased ( $P < 0.05$ ). There was no statistically significant different of IgA ( $P > 0.05$ ). C3 and C4 of the transport pilots who flying below 1000 h increased; as for the group of 1000 - 1999 h, IgG decreased, C3 and C4 increased; IgG of the 2000 - 3000 h group decreased; IgM of the group exceed 3000 h decreased, C3 and C4 increased ( $P < 0.05$ ). There was a certain correlation between the time of flight and IgM ( $r = -0.154$ ,  $P < 0.05$ ), simulate the power model of  $Y = 1.904(X - 0.094)$ , but there were no correlations with other indicators. **Conclusion** The immune indexes of transport pilots will change in the flying environment, IgG and IgM of the transport pilots decreased, C3, C4 increased and IgM decreased with the increase of time of flight.

**[Key words]** electromagnetic radiation; transport; pilots; complement; immunoglobulin

飞行员作为特殊群体,受到了飞行环境中多种有害因素的影响,如精神紧张、缺氧、加速度以及来源于宇宙射线的电离辐射等<sup>[1-3]</sup>。国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)也将喷气飞机机组人员列为宇宙辐射受照职业人群<sup>[4]</sup>。为了研究飞行环境下飞行员免疫功能的变化,以及飞行时间对其的影响,我们对部分运输机飞行人员与地勤工作人员的免疫球蛋白和补体水平进行了检测分析。

## 1 对象与方法

**1.1 研究对象** 为 2013 - 2015 年来我院体检的运输机飞行员和地勤工作人员,所有研究对象均无自身免疫病、肾病综合征等病史,亦无免疫抑制剂治疗史。其中观察组为 120 例运输机现役飞行员,年龄为  $(36.37 \pm 8.24)$  岁。按飞行时间将观察组分为 4 个亚组, < 1000 h 组 35 例;1000 ~ 1999 h 组 30 例;2000 ~ 3000 h 组 15 例以及 > 3000 h 组 40 例,各亚组之间年龄和飞行时间相比差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。对照组为 100 例现役地勤工作人员,年龄为  $(33.52 \pm 2.28)$  岁,观察组与对照组的年龄相比差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),见表 1。

**基金项目:** 总后卫生部 2013 年部队应用性研究课题 (13BJYZ24)

**作者单位:** 100142 北京,空军总医院临床检验中心

**通讯作者:** 朱美财, E-mail: zhumei@yahoo.com

表 1 各组的一般情况比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	n	年龄(岁)	飞行时间(h)
对照组	100	33.52 ± 2.28	
观察组	120	36.37 ± 8.24	
<1000 h 组	35	28.26 ± 3.16	511.43 ± 225.45
1000 ~ 1999 h 组	30	33.87 ± 4.32*	1497.00 ± 332.83*
2000 ~ 3000 h 组	15	39.53 ± 3.48*	2213.33 ± 247.46*
>3000 h 组	40	44.15 ± 7.09*	4598.25 ± 1257.74*

注:与 <1000 h 组比较, \* P < 0.05

表 2 各组与对照组 IgG 水平比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	n	IgG(g/L)
对照组	100	12.81 ± 2.22
观察组	120	11.87 ± 2.44*
<1000 h 组	35	12.15 ± 2.41
1000 ~ 1999 h 组	30	11.64 ± 2.23*
2000 ~ 3000 h 组	15	11.35 ± 2.49*
>3000 h 组	40	11.99 ± 2.63

注:与对照组比较, \* P < 0.05

**1.2 方法** 晨起空腹经肘静脉抽血 5 mL,离心半径 14.5 cm,3000 r/min 离心 5 min,吸取血清,检测其外周血免疫球蛋白和补体。

**1.3 仪器与试剂** IMAGE800 双光径免疫浊度分析仪、免疫球蛋白与补体试剂由贝克曼库尔特有限公司提供。

**1.4 统计学处理** 采用 SPSS 17.0 统计软件进行统计学分析。符合正态分布的数据用均数 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示,多组之间的比较采用方差分析 Dunnett 法;不符合正态分布的数据用中位数(四分位数差) [M(Qd)] 表示,组间比较采用非参数检验 Kruskal-Wallis H 法分析。飞行时间与各免疫指标之间分别进行双变量相关分析,符合正态分布的使用 Pearson 相关,不符合的使用 Kendall 相关;再通过曲线估计选择出合适的函数,进一步拟合曲线。P < 0.05 为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 各组免疫球蛋白和补体的比较** 各组 IgA、IgM、C3 与 C4 水平数据不符合正态分布,用中位数 [M(Qd)] 表示。与对照组相比,观察组的 IgG、IgM 水平降低,补体 C3、C4 水平增高 (P < 0.05)。按照飞行时间进一步分组,与对照组相比,飞行时间 < 1000 h 组的 C3、C4 水平增高;1000 ~ 1999 h 组的 IgG 水平降低,C3、C4 增高;2000 ~ 3000 h 组的 IgG 降低;> 3000 h 的观察组 IgM 降低,C3、C4 增高 (P < 0.05,见表 2、表 3)。

**2.2 观察组飞行时间与各指标之间的相关性分析** 飞行时间与 IgM 水平间呈负相关,相关系数 (r) 为 -0.154 (P < 0.05);与其余检测指标无相关性 (P 均 > 0.05)。

**2.3 观察组 IgM 水平与飞行时间的曲线估计** 对 IgM 水平与飞行时间进行曲线估计,选择 P < 0.05,相关程度最高的一个函数模型即 Power (幂模型),模拟出幂函数方程 Y = 1.904 (X - 0.094)。模拟曲线见图 1。

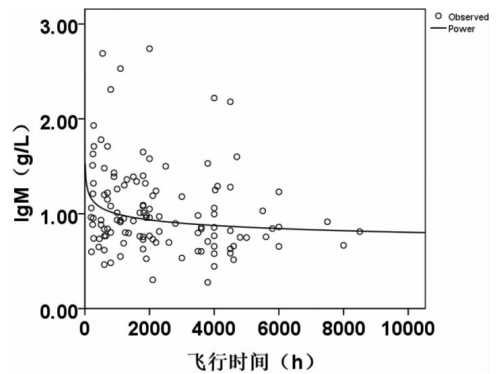


图 1 IgM 与飞行时间的幂模型模拟图

**3 讨论**

本研究发现:与地勤组人员相比,运输机飞行员的 IgG 和 IgM 水平降低,C3 和 C4 水平增高。缺乏 IgG 易患化脓性感染<sup>[5]</sup>。IgM 是在体液免疫应答中最先产生的抗体。C3、C4 是补体系统的主要成分,

表 3 各组与对照组 IgA、IgM、C3 与 C4 水平比较 [M(Qd)]

组别	n	IgA(g/L)	IgM(g/L)	C3(g/L)	C4(g/L)
对照组	100	2.16(0.97)	1.08(0.52)	1.03(0.30)	0.19(0.07)
观察组	120	2.02(1.25)	0.93(0.51)*	1.14(0.31)*	0.24(0.08)*
<1000 h 组	35	1.81(1.60)	1.06(0.71)	1.06(0.37)*	0.20(0.08)*
1000 ~ 1999 h 组	30	1.89(0.73)	0.97(0.52)	1.20(0.26)*	0.26(0.05)*
2000 ~ 3000 h 组	15	2.52(1.42)	0.95(0.51)	1.12(0.28)	0.22(0.08)
>3000 h 组	40	2.25(1.09)	0.81(0.40)*	1.15(0.30)*	0.23(0.10)*

注:与对照组比较, \* P < 0.05

尤其是 C3, 补体激活的经典途径和旁路途径都要通过激活 C3 来进一步激活补体末端成分<sup>[6]</sup>。运输机飞行员是从事飞行工作的特殊群体, 他们相对身体健康、生活规律、营养丰富, 还拥有健全的医疗保障系统, 本文亦显示运输机飞行员的免疫球蛋白和补体水平的改变与健康 and 营养因素关系不大。有研究发现紧张会导致 C3 轻微增高<sup>[7-8]</sup>。飞行时间越长, 受到的紧张因素的影响应该越多, 但本文中飞行时间在 2000 ~ 3000 h 的飞行员的补体水平并未发生增高, 而飞行时间小于 1999 h 及大于 3000 h 的飞行员的补体水平增高, 所以紧张因素似乎不是本文中补体变化的主要原因。飞行员在飞行环境中受到最常见的影响因素是加速度和电磁辐射。有研究表明高正加速度 (+Gz) 对飞行员唾液分泌型免疫球蛋白 (secretory immunoglobulin A, sIgA) 浓度无影响<sup>[9]</sup>, 说明加速度对免疫球蛋白的改变影响不大。飞行员也是宇宙辐射的职业受照人员, 有研究表明, 极地航线组空勤人员宇宙辐射的年平均有效剂量可达到 (5.79 ± 0.92) mSv/年, 非极地航线空乘人员的宇宙辐射年平均有效剂量可达到 (2.14 ± 0.64) mSv/年<sup>[10]</sup>。并且飞行员在飞行过程中长时间处于飞机头部, 暴露在玻璃窗下的时间较长, 得不到有效的保护。有研究发现, 电磁辐射暴露组与对照组比较, IgG 和 IgM 水平均明显降低 ( $P < 0.01$ ), C3 和 C4 水平显著增加 ( $P < 0.01$ )<sup>[11]</sup>。在低辐射剂量的环境下, 辐射组的 IgG、IgA 与 IgM 含量降低<sup>[12]</sup>。综上所述, 本文认为, 飞行员免疫球蛋白与补体改变的主要原因可能是来自于飞行环境中的高空电磁辐射。

天然的辐射主要是宇宙射线、地球原生核素, 人工的主要是机载雷达、激光武器和大功率的机械电子设备<sup>[13]</sup>。有研究表明, 电磁辐射可以引起免疫组织细胞出现大量凋亡, 其凋亡可能与活性氧的增高有关<sup>[14]</sup>。因此, 本文认为 IgG 和 IgM 水平的降低可能是辐射导致的免疫损伤。C3、C4 性状不稳定, 易受理化损伤、震荡、紫外线、温度的影响。我们认为补体的升高一方面可能是因为震荡、辐射导致的免疫损伤后的代偿反应, 另一方面可能是由于飞行时心理因素对机体产生的刺激作用。具体变化的机制有待于进一步研究。

在不同飞行时间分组研究以及相关分析中发现, IgG 的降低出现在飞行时间较长的观察组。IgG 在早期无变化可能是因为机体产生免疫损伤后的代偿作用。随着飞行时间的增加, 电磁辐射造成免疫损伤的累积, 损伤累积大于机体的代偿作用, 进而引起 IgG 水平降低。而 C3、C4 在早期的增高可能是

由于心理的刺激作用以及损伤后的代偿作用; 先升高后降低的趋势表现为机体的适应性过程, 以及机体的自身免疫修复功能; 而在晚期的增高则可能是因为长期的电磁辐射对补体系统造成的影响, 有待于进一步研究。IgM 水平在飞行 > 3000 h 的时候显著降低, 并随着飞行时间的增加逐渐降低, 可能是由于低电磁辐射造成免疫损伤的长期累积效应。

综上所述, IgG、IgM 水平降低以及 C3、C4 水平增高均是免疫损伤的反映, 是对飞行员健康的不利因素。应该及时监测飞行员早期补体的变化以及飞行后期的免疫球蛋白的变化, 定时的疗养<sup>[15]</sup> 以及加强飞行环境中电磁辐射的防护也很有必要。

### 【参考文献】

- [1] 任兆生, 李路平, 李俊勤, 等. 高温、噪声、振动复合应激时人体血压和缩血管激素的变化[J]. 中华航空航天医学杂志, 1997, 8(2): 111-114.
- [2] De Luca CI, Deeva I, Mariani S, et al. Monitoring antioxidant defenses and free radical production in space-flight, aviation and railway engine operators, for the prevention and treatment of oxidative stress, immunological impairment, and pre-mature cell aging[J]. Toxicol Ind Health, 2009, 25(4-5): 259-267.
- [3] 沈思云, 白菁. 浅谈飞行员缺氧训练中的护理体会[J]. 东南国防医药, 2007, 9(4): 298-299.
- [4] 冯英进, 陈蔚如, 仲晶. 飞行人员宇宙辐射有效剂量的估算和分析[J]. 环境与职业医学, 2004, 21(4): 271-274.
- [5] 于繁荣. 巨细胞病毒感染与宿主的免疫机能损伤[J]. 南京部队医药, 1998, 1(2): 78-80.
- [6] 宋水江, 张成国, 黄鉴政. 脑血管病患者体液免疫功能的初步研究[J]. 浙江大学学报: 医学版, 1995, 24(4): 148-150.
- [7] 刘继文, 王治明, 王绵珍, 等. 职业紧张对免疫功能的影响[J]. 中国工业医学杂志, 2002, 15(2): 100-101.
- [8] 张育红, 李国玉, 孙磊, 等. 医务人员职业紧张与补体水平关系研究[J]. 中国工业医学杂志, 2010, 23(4): 289-291.
- [9] 李卫东, 薛霞, 薛红, 等. 高 +Gz 暴露对飞行员唾液分泌型免疫球蛋白 A 和皮质醇浓度的影响[J]. 中华航空航天医学杂志, 2013, 24(2): 113-116.
- [10] 拓飞, 姚永祥, 周炼, 等. 极地与非极地航线空勤人员所受光子和中子宇宙辐射剂量比较[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30(4): 469-471.
- [11] 李延忠, 陈少华, 赵科伙, 等. 微波辐射对机体健康和免疫功能的影响[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2013, 31(8): 602-605.
- [12] 刘新梅, 谭卫国, 曾红, 等. 某市放射作业人员免疫球蛋白含量的影响分析[J]. 工业卫生与职业病, 2012, 38(1): 47-48.
- [13] 彭章平, 白菁, 冯松锦, 等. 飞行员外周血 T 淋巴细胞免疫功能初步研究[J]. 环境与健康杂志, 1999, 16(4): 210-212.
- [14] 郭瑛, 崔玉芳, 李燕, 等. 高功率微波对大鼠免疫组织活性氧水平的影响[J]. 中国预防医学杂志, 2007, 8(5): 528-530.
- [15] 徐莉, 周林甫, 扬长斌, 等. 临潼疗养地自然疗养因子对飞行员免疫功能的影响[J]. 中华保健医学杂志, 2010, 12(6): 465-466.

(收稿日期: 2015-03-25; 修回日期: 2015-05-01)

(本文编辑: 张仲书; 英文编辑: 王建东)