

DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20230272

• 短篇论著 •

## 普通高中与空军青少年航空学校高三学生抗荷体质差异分析

汪晓华<sup>1</sup>, 厉晓杰<sup>2</sup>, 齐林嵩<sup>3</sup>, 邹志康<sup>1,4\*</sup>

1. 安徽医科大学卫生管理学院, 合肥 230032

2. 空军特色医学中心骨科, 北京 100142

3. 空军特色医学中心眼科, 北京 100142

4. 空军军医大学科研学术处, 西安 710032

**[摘要]** **目的** 对比空军青少年航空学校(青航校)与普通高中高三学生招飞抗荷体质相关指标差异, 探索青少年航空学校抗荷体质训练成果, 为训练方案优化提供科学依据。**方法** 随机抽取参加2022年空军招飞医学选拔定选阶段的160名青航校高三学员与191名普通高中高三学生作为研究对象, 其中青航校学员按照既定培养方案在高中阶段接受专项抗荷体质训练, 普通高中生体育锻炼情况通过问卷调查收集。收集两组研究对象的人体尺寸、体重、身体成分、肌肉力量等指标并进行比较分析。参照WHO标准将体脂率分为低( $<15\%$ )、正常( $15\% \sim 20\%$ )、高( $>20\%$ )3个等级, 采用四分位数法将骨骼肌质量指数(SMI)分为低( $SMI \leq$ 下四分位数)、适中(下四分位数 $<SMI <$ 上四分位数)、高( $SMI \geq$ 上四分位数)3个等级, 对青航校和普通高中生进行分类统计。同时对所有研究对象的体脂率、SMI与抗荷力量进行相关性分析。**结果** 青航校学员身高、四肢长、平静胸围、体重高于普通高中生(均 $P < 0.05$ ), 但两者坐高差异无统计学意义( $P > 0.05$ ); 青航校学员SMI高于普通高中生( $P < 0.05$ ), 但两者体脂率差异无统计学意义( $P > 0.05$ ); 青航校学员腰背肌力与下肢肌力的均值和峰值高于普通高中生(均 $P < 0.05$ )。青航校学员与普通高中生SMI分布存在差异( $P < 0.01$ ), 青航校学员中高SMI学员比例更高、低SMI学员比例更低; 青航校学员与普通高中生体脂率分布差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。SMI与抗荷力量(腰背肌力峰值、腰背肌力均值、下肢肌力峰值、下肢肌力均值)呈正相关( $r = 0.32 \sim 0.39$ , 均 $P < 0.05$ ), 体脂率与抗荷力量不相关( $r = -0.06 \sim 0.01$ , 均 $P > 0.05$ )。**结论** 青航校抗荷体质训练在学员的抗荷相关肌肉力量提高方面成效显著, 但在体脂率控制方面仍存在改进空间, 未来青航校抗荷体质训练需兼顾肌肉训练与体脂控制。

**[关键词]** 空军青少年航空学校; 抗荷; 身体成分; 肌肉力量

**[引用本文]** 汪晓华, 厉晓杰, 齐林嵩, 等. 普通高中与空军青少年航空学校高三学生抗荷体质差异分析[J]. 海军军医大学学报, 2024, 45(5): 640-645. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20230272.

### Differences in anti-G constitution between graduates of general high school and teenagers aviation school of air force

WANG Xiaohua<sup>1</sup>, LI Xiaojie<sup>2</sup>, QI Linsong<sup>3</sup>, ZOU Zhikang<sup>1,4\*</sup>

1. College of Health Administration, Anhui Medical University, Hefei 230032, Anhui, China

2. Department of Orthopaedics, Air Force Medical Center, Beijing 100142, China

3. Department of Ophthalmology, Air Force Medical Center, Beijing 100142, China

4. Office of Scientific and Academic Research, Air Force Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi, China

**[Abstract]** **Objective** To compare the anti-G constitution between the graduates of teenagers aviation school of air force (TASAF) and general high school, explore the results of anti-G constitution training project in TASAF, and provide an evidence for training program optimization. **Methods** A total of 160 senior students in TASAF and 191 general high school graduates who participated in the 2022 final-stage medical selection of PLA air force were randomly enrolled. The students in TASAF received special anti-G constitution training at the high school stage according to the established training program,

**[收稿日期]** 2023-05-16 **[接受日期]** 2024-02-27

**[基金项目]** 飞行人员作战效能提升项目(2021HKYX07, 2021HKYX24), 空军特色医学中心课题(SXKT01). Supported by Pilot Combat Effectiveness Improvement Project (2021HKYX07, 2021HKYX24) and Air Force Medical Center Project (SXKT01).

**[作者简介]** 汪晓华, 硕士生. E-mail: 1878255446@qq.com

\*通信作者( Corresponding author ). Tel: 029-84710401, E-mail: zouzhuikang1979@126.com

and the physical exercise of general high school graduates was collected through questionnaires. The body dimensions, body weight, body composition, and muscle strength were collected and compared. WHO standard was used to categorize body fat percentage (BFP) into 3 grades: low ( $<15\%$ ), normal ( $15\%-20\%$ ), and high ( $>20\%$ ), the interquartile method was used to categorize skeletal muscle mass index (SMI) into 3 grades: low ( $SMI \leq$  lower quartile), moderate (lower quartile  $< SMI <$  upper quartile), and high ( $SMI \geq$  upper quartile), and the classification statistics was done for the graduates of the TASAF and general high school. Correlation analysis was used to analyze BFP, SMI and anti-G strength of all study participants. **Results** The height, limb length, calm chest circumference, and body weight of the TASAF participants were significantly higher than those of the general high school students (all  $P < 0.05$ ), and there was no significant difference in sitting height between them ( $P > 0.05$ ). The SMI of the TASAF participants was significantly higher than that of the general high school students ( $P < 0.05$ ), and there was no significant difference in BFP between them ( $P > 0.05$ ). The mean/peak back muscle strength and lower limb muscle strength of the TASAF participants were significantly higher than those of the general high school students (all  $P < 0.05$ ). There was difference in the distribution of SMI between the TASAF and general high school graduates, with a higher percentage of high SMI and a lower percentage of low SMI in the TASAF graduates ( $P < 0.01$ ), while there was no significant difference in the distribution of BFP between the TASAF and general high school graduates ( $P > 0.05$ ). SMI was significantly positively correlated with anti-G strength (peak back muscle strength, mean back muscle strength, peak lower limb muscle strength, mean lower limb muscle strength) ( $r = 0.32-0.39$ , all  $P < 0.05$ ), while BFP was not significantly correlated with anti-G strength ( $r = -0.06-0.01$ , all  $P > 0.05$ ). **Conclusion** Anti-G constitution training project in the TASAF is effective in improving muscle strength related to anti-G constitution. However, there is still room for improvement in the control of BFP, and in the future anti-G training should take into account both muscle training and body fat control.

[ **Key words** ] teenagers aviation school of air force; anti-G; body composition; muscle strength

[ **Citation** ] WANG X, LI X, QI L, et al. Differences in anti-G constitution between graduates of general high school and teenagers aviation school of air force[J]. Acad J Naval Med Univ, 2024, 45(5): 640-645. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20230272.

现代战斗机以高过载、高过载变化率为特征,对飞行员的抗荷能力要求较高。既往针对抗荷能力的研究表明,肌肉力量与抗荷能力存在显著相关性<sup>[1-2]</sup>。青少年时期是肌肉力量训练的敏感期,在该时期内通过适宜的方法进行训练可达到更好的效果<sup>[3]</sup>。

空军青少年航空学校(以下简称青航校)为学员提供了抗荷体质训练干预,目前已经形成一套可行的训练方法。本研究通过对比青航校高三学员与普通高中高三学生招飞抗荷体质相关指标差异,评估青航校抗荷体质训练方案的效果,为改进青航校抗荷体质训练方案提供思路。

## 1 对象和方法

1.1 研究对象与分组 本研究于2022年2月至5月实施。采用分层随机抽样方法,从A、B、C、D四省中抽取352名2022年参加空军飞行学员医学选拔定选阶段的高三学生作为研究对象。普通高中按照空军招收飞行学员的相关文件依次参加初选、复选与定选;青航校学员入校时均体检合格,

高三学年直接参加定选。两组学生在参加定选时人体形态学指标均符合招飞标准规定。所有研究对象均为男性。其中青航校高三学员161名,年龄为( $17.80 \pm 0.51$ )岁;普通高中高三学生191名,年龄为( $17.86 \pm 0.58$ )岁。青航校高三学员与普通高中高三学生年龄差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

1.2 抗荷体质训练干预措施 青航校学员按照既定培养方案<sup>[4]</sup>,在高中阶段开展专项抗荷体质训练。在每周2次的体育课上分别进行1次高强度间歇跑步训练和1次高强度间歇徒手力量训练,周末训练课则进行高强度间歇跑步训练。普通高中生不进行干预,本研究通过随机问卷对104名普通高中高三学生进行体育运动习惯现状调查,结果显示大多数普通高中生会利用碎片时间自发进行运动锻炼,这种运动方式呈现出器材依赖性低、频率较高、持续时间较短的特点。见表1。

1.3 人体尺寸与体重测量方法 身高、坐高、平静胸围、四肢长、体重等指标均按照《空军招收飞行学员体格检查方法(试行)》所规定方法进行测量。

表1 青航校学员抗荷体质训练方案与普通高中生体育锻炼情况

锻炼项目	青航校抗荷体质训练方案	普通高中生体育锻炼情况
有氧耐力		
训练项目	高强度间歇跑步训练: 全力跑 200 m, 间歇以 50% 速度跑 600 m, 重复 4~6 组	68.27%(71/104) 的学生会自发进行有氧耐力训练, 其中长跑(69.01%, 49/71)、跳绳(35.21%, 25/71)、纵跳(12.68%, 9/71)居前 3 位
训练要求	以全力跑为高强度要求, 以 50% 为间歇强度要求	依据体育课标要求或学生自发训练
训练频率	2 次/周	>3 次/周(21.13%, 15/71)、3 次/周(35.21%, 25/71)、2 次/周(23.94%, 17/71)、1 次/周(19.72%, 14/71)
训练时间	每次 30~45 min	0~10 min/次(9.86%, 7/71)、>10~20 min/次(46.48%, 33/71)、>20~30 min/次(33.80%, 24/71)、>30 min/次(9.86%, 7/71)
力量素质		
训练项目	全身肌肉练习, 侧重核心和下肢力量练习, 包括平板支撑及各种变式, 各种蹲跳变式, 侧弓步、跪姿前倾、俯身跨步登山、立卧撑收腹跳、高抬腿、俯卧撑等	77.88%(81/104) 的学生会自发进行力量素质训练, 其中俯卧撑(69.14%, 56/81)、仰卧起坐(54.32%, 44/81)、哑铃-上肢力量训练(25.93%, 21/81)居前 3 位
训练要求	不同的练习穿插进行, 中间无间断休息, 与耐力训练间隔至少 2 h	依据体育课标要求或学生自发训练
训练频率	1 次/周	>3 次/周(38.27%, 31/81)、3 次/周(24.69%, 20/81)、2 次/周(30.86%, 25/81)、1 次/周(6.17%, 5/81)
训练时间	每次 30~45 min	0~10 min/次(8.64%, 7/81)、>10~20 min/次(58.02%, 47/81)、>20~30 min/次(27.16%, 22/81)、>30 min/次(6.17%, 5/81)

1.4 身体成分检测 采用基于生物电阻抗技术的人体成分测量仪(InBody270, 韩国 Biospace 公司)对人体成分进行检测。检测时受试者赤足站立于仪器踏板上, 身体放松, 赤手握住仪器把手, 仪器自动记录受试者体脂率和骨骼肌质量指数(skeletal muscle mass index, SMI)等信息。为进一步探索青航校高三学员与普通高中高三学生身体成分差异, 参照 WHO 男性体脂率肥胖诊断标准<sup>[5]</sup>, 将体脂率分为低(体脂率<15%)、正常(15%≤体脂率≤20%)、高(体脂率>20%) 3 个等级; 由于我国目前尚无对青年男性 SMI 的分组标准, 本研究采用四分位数法将 SMI 分为低(SMI≤下四分位数)、适中(下四分位数<SMI<上四分位数)、高(SMI≥上四分位数) 3 个等级, 按照不同体脂率和 SMI 等级对青航校学员和普通高中生进行分类统计。

1.5 肌肉力量检测 利用等长肌力测试装备(Globus Ergo Isocontrol, 意大利 Domino 公司)对腰背肌群和下肢肌群的等长肌力进行检测。下肢肌群力量以股四头肌为主, 兼顾臀大肌、腓绳肌等肌肉的等长肌力。腰背肌群力量是指腰大肌、竖脊肌、骶棘肌等维持姿势的腰背部核心肌群共同收缩产生的等长肌力。

下肢肌力测试动作规范: 测试前, 嘱受试者身体直立、双足比肩略宽站立, 测试人员调整拉杆长

度使受试者膝关节屈曲 130°, 受试者双手握紧握棒, 双下肢以最大力量用力下蹬, 测试过程保持腰部直立。

腰背肌力测试动作规范: 受试者站立位, 躯干直立, 双下肢伸直, 测试人员调整拉杆长度至受试者上体前倾 30° 的位置, 受试者用腰背部最大力量直臂上拉握柄, 测试过程中保持躯干和下肢伸直。

每项测试均由专业医学选拔医师测试 2 次, 最大等长用力 5 s, 仪器自动记录每次测试的力量最大值, 将 2 次检测最优的结果记为力量峰值, 反映受试者最强力量表现, 并计算 2 次力量检测结果的均值以减少极端测试结果的影响, 更好地反映受试者的力量水平。同一位受试者在 2 次测试之间间歇 1 min。测试前测试人员对设备进行校准调试。测试过程中, 受试者听从测试人员口令, 且测试人员持续通过语言鼓励受试者最大用力。

1.6 质量控制 测量人员为具有多年招飞经验的空军招飞医学选拔专业医师, 严格按照规定方法进行检测, 并经过双人复核。

1.7 统计学处理 应用 SPSS 26 软件对数据进行统计分析。采用拉依达准则判断异常值(即测定值与平均值的偏差超过 2 倍标准差), 有 1 名青航校学员出现异常值, 予以剔除。计量资料呈正态分布且方差齐, 以  $\bar{x} \pm s$  描述, 组间比较采用独立样本

*t* 检验; 计数资料以频数和百分数表示, 组间比较采用  $\chi^2$  检验。两变量相关性分析采用 Pearson 相关分析。检验水准 ( $\alpha$ ) 为 0.05。

## 2 结果

2.1 人体尺寸对比 相同条件下, 青航校高三学员的身高、四肢长、平静胸围均高于普通高中高三学生 (均  $P < 0.05$ ), 坐高与普通高中高三学生差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见表 2。

表 2 青航校高三学员与普通高中高三学生人体尺寸比较

指标	cm, $\bar{x} \pm s$	
	青航校 $n=160$	普通高中 $n=191$
身高	176.49 ± 4.70	175.15 ± 4.28*
坐高	93.51 ± 2.28	93.50 ± 2.42
平静胸围	88.17 ± 5.03	86.94 ± 5.26*
下肢长	82.96 ± 3.59	81.64 ± 3.28*
上肢长	75.92 ± 3.03	74.84 ± 2.75*

\* $P < 0.05$  与青航校比较。

2.2 体重、身体成分与肌肉力量指标对比 青航校高三学员 SMI 高于普通高中高三学生 ( $P < 0.05$ ), BMI 和体脂率与普通高中高三学生相比差异无统计学意义 (均  $P > 0.05$ ), 腰背肌力均值/峰值与

下肢肌力均值/峰值均高于普通高中高三学生 (均  $P < 0.05$ )。见表 3。

表 3 青航校高三学员与普通高中高三学生体重、身体成分及肌肉力量指标比较

指标	$\bar{x} \pm s$	
	青航校 $n=160$	普通高中 $n=191$
体重/kg	69.26 ± 7.41	67.14 ± 8.88*
BMI/(kg·m <sup>-2</sup> )	22.24 ± 2.35	21.85 ± 2.72
体脂率/%	18.57 ± 5.89	19.32 ± 5.88
SMI/(kg·m <sup>-2</sup> )	7.90 ± 0.50	7.68 ± 0.58*
腰背肌力均值/N	1 085.23 ± 140.69	1 034.66 ± 167.01*
腰背肌力峰值/N	1 128.73 ± 142.89	1 079.02 ± 164.83*
下肢肌力均值/N	1 296.57 ± 223.04	1 201.85 ± 251.83*
下肢肌力峰值/N	1 358.88 ± 249.65	1 255.01 ± 259.56*

\* $P < 0.05$  与青航校比较。BMI: 体重指数; SMI: 骨骼肌质量指数。

分类统计结果显示, 青航校高三学员低体脂率比例与普通高中高三学生相当, 正常体脂率比例高于普通高中高三学生, 高体脂率比例低于普通高中, 但两组体脂率等级分布差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。青航校高三学员低 SMI 比例低于普通高中高三学生, 高 SMI 比例高于普通高中高三学生, 适中 SMI 比例与普通高中高三学生相当, 且两组 SMI 等级分布差异有统计学意义 ( $P < 0.01$ )。见表 4。

表 4 青航校高三学员与普通高中高三学生体脂率和 SMI 等级分布比较

组别	n (%)					
	体脂率			SMI		
	低	正常	高	低	适中	高
青航校 $N=160$	47 (29.38)	56 (35.00)	57 (35.62)	29 (18.13)	74 (46.25)	57 (35.62)
普通高中 $N=191$	54 (28.27)	52 (27.23)	85 (44.50)	62 (32.46)	85 (44.50)	44 (23.04)
$\chi^2$ 值	3.44			11.76		
<i>P</i> 值	0.18			<0.01		

低、正常、高体脂率分别为体脂率  $< 15\%$ 、 $15\% \sim 20\%$ 、 $> 20\%$ ; 低、适中、高 SMI 分别为 SMI  $\leq$  下四分位数、 $>$  下四分位数且  $<$  上四分位数、 $\geq$  上四分位数。SMI: 骨骼肌质量指数。

2.3 体脂率、SMI 与抗荷力量的关系 为探索身体成分与抗荷力量的关系, 将所有研究对象的体脂率、SMI 与抗荷力量进行 Pearson 相关分析, 结果显示, 体脂率与抗荷力量指标 (腰背肌力峰值、腰背肌力均值、下肢肌力峰值、下肢肌力均值) 没有明显相关性 ( $r = -0.04$ 、 $-0.06$ 、 $-0.01$ 、 $0.01$ , 均  $P > 0.05$ ), SMI 与抗荷力量指标均呈正相关 ( $r = 0.39$ 、 $0.36$ 、 $0.32$ 、 $0.32$ , 均  $P < 0.05$ )。

## 3 讨论

随着战斗机的迭代更新, 飞行员面对的载荷环境日益复杂。美军曾报道 1982—2002 年共发生了 559 起由正加速度引起的意识丧失 (G-induced loss of consciousness, G-LOC) 事件, 其发生率为每百万架次 25.9 起, 致死率为每百万架次 0.9 起<sup>[6]</sup>。飞行员作为空中战斗力的核心, 其自身优秀的抗荷

能力始终是从容应对载荷影响、保障飞行安全的基础。研究表明,强大的下肢肌群力量有助于在飞行员做抗荷动作时收紧下肢肌肉,提高回心血量,减少空中晕厥;腰背肌群力量有助于稳固躯干,提高飞行员在座舱中的稳定性,使抗荷动作更加准确有效<sup>[7-8]</sup>。美军的另一项报道指出,引起G-LOC事件的首要原因是飞行员的不良抗荷动作(占72%)<sup>[9]</sup>,可见在载荷环境下充分调动抗荷相关肌群高效完成抗荷动作的重要性。通过肌肉力量与肌肉耐力训练来提升飞行员基础抗荷能力已形成共识。

青少年时期是身体、心理和认知发展的关键阶段,也是肌肉训练的黄金时期,适宜的训练方案能够取得事半功倍的效果<sup>[10]</sup>。然而高中阶段学业压力巨大,此次问卷调查显示普通高中运动锻炼方式具有器材依赖性低、频率高、持续时间短的特点,结合普通高中高三学生高体脂率比例高、低SMI比例高的情况,说明普通高中生在肌肉训练的黄金时期往往得不到足量且专业的运动指导。为寻求文化学习与飞行员专项培养之间的平衡,2016年本课题组在充分了解全国普通高中生运动锻炼现状与全国空军青航校抗荷训练情况的基础上,针对现有的训练条件,结合飞行员专项需求和青少年生长发育特殊时期的生理特点设计了抗荷体质训练方案,该方案以无氧训练为主,兼顾有氧训练,针对下肢肌群、腰背肌群等抗荷相关肌群的肌肉力量、耐力和爆发力展开训练。既往随访研究发现,经过1年的抗荷力量训练,青航校学员的抗荷相关肌肉力量明显提高<sup>[11]</sup>。但是既往研究采用自身前后对照,不能完全排除年龄增长对试验结果的影响,因此,本课题组在2022年度空军招飞医学选拔时期开展了青航校高三学员和普通高中高三学生的对照研究,结果显示青航校高三学员腰背肌力、下肢肌力均高于普通高中高三学生。这些结果直接证明了本课题组制定的青航校抗荷体质训练方案能够充分契合高中阶段学员的培养特点,切实提高青航校学员的抗荷能力。

有趣的是,在人体尺寸方面,青航校高三学员身高、四肢长、平静胸围均高于普通高中高三学生。由于两类人群在人体尺寸方面的选拔标准相同,因此在标准规定的范围内,招飞医学选拔对两类人群的人体尺寸分布造成的偏倚影响较小,在青航校开展的抗荷体质训练有可能是引起两类人群差异的原因之一。青航校招生人体形态学指标的标准

制定依据全国青少年生长发育规律<sup>[12-13]</sup>,由于青航校训练影响的特殊性,未来的标准制定需要依据青航校学员的真实世界研究成果。

此外,本研究尝试将人体成分分析指标体脂率与SMI纳入抗荷体质分析,以便更加直观地体现训练效果。SMI为四肢骨骼肌质量(kg)与身高的平方(m<sup>2</sup>)的比值,可较全面地反映肌肉变化情况,适用于评定全身性力量训练的效果。研究结果表明青航校高三学员的SMI高于普通高中高三学生,且低SMI比例低于普通高中高三学生,高SMI比例高于普通高中高三学生,充分佐证抗荷体质训练方案切实有效。同时,该指标与肌肉力量检测结果呈正相关,这提示后续训练评估中,SMI可以作为训练效果评价的辅助指标。

体脂率与人体健康关系密切,大量研究表明,高体脂率与血糖、血脂、尿酸等水平具有正相关关系<sup>[14-16]</sup>。控制体脂率不仅对健康有重要意义,更是维持良好飞行能力的基础。有研究指出体脂率与人体反应速度呈现负相关关系<sup>[17-19]</sup>,而反应速度对于飞行员的抗荷能力、飞行表现至关重要。外军一项针对不同机种的飞行员人体成分调查研究显示,战斗机飞行员体脂率低于运输机飞行员<sup>[20]</sup>。我军对飞行员体脂率的调查发现,飞行员群体中高体脂率比例较高,且随年龄增大呈现增高趋势<sup>[21-22]</sup>,说明我军飞行员体脂率控制存在较大空间。儿童青少年时期的体重超标与成年时期严重肥胖相关<sup>[23]</sup>,飞行员群体体脂率的控制应前移至青航校学员阶段。本研究结果显示,青航校高三学员体脂率与同年级普通高中生相比差异无统计学意义,但在体脂率分布上,青航校学员更偏向于低体脂率和正常体脂率。青航校抗荷体质训练可能是引起这种差异趋势的重要原因。

综上所述,目前的青航校培养训练方案在学员抗荷体质训练方面取得了较为明显的效果,但是在体脂率控制方面仍有较大改进空间。由于青少年人群在生长发育过程中体脂率呈现逐步增加的趋势,因此在制定和改进青航校学员体脂率干预措施时,需要尊重青少年人群的体脂率变化规律,不能过分追求低体脂率,可从饮食调控与运动锻炼两方面着手:一方面,要合理安排青航校学员的膳食计划,做好营养保障;另一方面,在后续改进抗荷训练方案时需兼顾有氧与无氧训练,平衡增肌与减脂。

## [参 考 文 献]

- [1] WHINNERY J E, GONDEK M R. Medical evaluation of G-sensitive aircrewmembers[J]. *Aviat Space Environ Med*, 1978, 49(8): 1009-1013.
- [2] KHOMENKO M N, VARTBARONOV R A, MIGACHYOV S D. Prognostication of flyer's +Gz tolerance on the base of static muscular strength endurance[J]. *Physiologist*, 1992, 35(1 Suppl): S126-S130.
- [3] SCHOENAU E, NEU C M, RAUCH F, et al. The development of bone strength at the proximal radius during childhood and adolescence[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2001, 86(2): 613-618. DOI: 10.1210/jcem.86.2.7186.
- [4] 张灵婕, 邹志康, 李浩, 等. 空军青少年航空学校学生改进抗荷体质训练效果评价[J]. *中国体育科技*, 2019, 55(8): 30-37. DOI: 10.16470/j.csst.2019136.
- [5] Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee[J]. *World Health Organ Tech Rep Ser*, 1995, 854: 1-452.
- [6] LYONS T J, KRAFT N O, COPLEY G B, et al. Analysis of mission and aircraft factors in G-induced loss of consciousness in the USAF: 1982-2002[J]. *Aviat Space Environ Med*, 2004, 75(6): 479-482.
- [7] TESCH P A, HJORT H, BALLDIN U I. Effects of strength training on G tolerance[J]. *Aviat Space Environ Med*, 1983, 54(8): 691-695.
- [8] RAUSCH M, WEBER F, KÜHN S, et al. The effects of 12 weeks of functional strength training on muscle strength, volume and activity upon exposure to elevated Gz forces in high-performance aircraft personnel[J]. *Mil Med Res*, 2021, 8(1): 15. DOI: 10.1186/s40779-021-00305-8.
- [9] SEVILLA N L, GARDNER J W. G-induced loss of consciousness: case-control study of 78 G-LOCs in the F-15, F-16, and A-10[J]. *Aviat Space Environ Med*, 2005, 76(4): 370-374.
- [10] 苟波, 陈佩杰. 青少年身体形态发育特征及运动对发育的影响[J]. *体育科研*, 2004, 25(4): 34-36. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1207.2004.04.010.
- [11] 李浩, 郑子阳, 史久美, 等. 空军青少年航空学校学生抗荷力量训练1年力量变化分析[J]. *空军医学杂志*, 2020, 36(1): 15-17. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3402.2020.01.005.
- [12] 2010年全国学生体质与健康调研结果[J]. *中国学校卫生*, 2011, 32(9): 1024, 1026.
- [13] 教育部关于2005年全国学生体质与健康调研结果公告[J]. *中华人民共和国教育部公报*, 2007( Z1 ): 44-46.
- [14] 肖元元, 姜智峰, 蒋伏松, 等. 不同糖代谢水平人群血尿酸水平与体脂分布的相关性分析[J]. *中国全科医学*, 2021, 24(21): 2675-2679. DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2021.00.507.
- [15] 严孙杰, 张永泽, 沈喜妹, 等. 超重肥胖患者心血管相关危险因子与体成分构成的关系[J]. *中华高血压杂志*, 2014, 22(12): 1150-1156. DOI: 10.16439/j.cnki.1673-7245.2014.12.030.
- [16] 郭昊, 曾强. 华中地区省会城市青春期青少年体脂率状况及其与血压的关联[J]. *现代预防医学*, 2022, 49(16): 2951-2955. DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202201381.
- [17] 赵润栓, 平昭, 白雪琴, 等. 成年人体脂率与人体反应速度的相关性[J]. *公共卫生与预防医学*, 2013, 24(4): 15-17.
- [18] 张凯. 大学生体脂率与身体素质的相关性分析[J]. *武术研究*, 2023, 8(4): 135-137. DOI: 10.13293/j.cnki.wskx.010025.
- [19] 张雁, 辉晓平. 反应时测试的应用[J]. *中国康复理论与实践*, 2005, 11(1): 34-37. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2005.01.014.
- [20] BUSTAMANTE-SÁNCHEZ Á, CLEMENTE-SUÁREZ V J. Body composition differences in military pilots and aircrew[J]. *Aerosp Med Hum Perform*, 2020, 91(7): 565-570. DOI: 10.3357/AMHP.5401.2020.
- [21] 高茸, 康阳, 杨阔, 等. 196名飞行员人体成分分析[J]. *解放军医学院学报*, 2022, 43(2): 219-222. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5227.2022.02.016.
- [22] 王全, 韩学平, 国佳, 等. 不同年龄段飞行员体质指数与体脂百分比特征观察[J]. *人民军医*, 2012, 55(6): 483-485.
- [23] 仲伟娟. 青春发育期少年体脂率测量与评价方法的比较研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2008.

[本文编辑] 孙岩