

DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20220222

• 短篇论著 •

## 一种适用于飞行教官的新型抗荷动作的表面肌电图评价

杨景慧<sup>1</sup>, 王海霞<sup>1</sup>, 杨明浩<sup>1</sup>, 李宝辉<sup>1</sup>, 谭清坡<sup>2</sup>, 徐艳<sup>1\*</sup>

1. 空军特色医学中心加速度生理研究室, 北京 100142

2. 解放军 95809 部队医院, 沧州 061000

**[摘要]** **目的** 对本课题组前期提出的适用于飞行教官的抗荷动作进行表面肌电图评价。**方法** 纳入 18~20 岁受试者 8 人, 试验设备采用 AMST-HC-4E 型载人离心机, 根据初教机与高教机飞机性能及载荷特点编制 3.0G60s、4.0G50s、5.0G40s、6.0G30s 及 7.0G20s 共 5 条离心机加速度曲线, 分别评价 FT 动作及 HP 动作的抗荷效果, 同时利用表面肌电技术观察不同载荷下 2 种抗荷动作训练前后肌肉用力的变化及肌肉激活的情况。**结果** 训练后, 受试者使用 FT 动作与 HP 动作时抗荷耐量均较训练前增加, 与训练前相比, FT 动作组增加 60.8%, HP 动作组增加 34.6%, FT 动作+KH-X 抗荷服组增加 50.5%, HP 动作+KH-X 抗荷服组增加 51.7%, 差异均有统计学意义 ( $P$  均 $<0.05$ ); 表面肌电测试结果显示, 训练后 FT 动作组及 HP 动作组的积分肌电值 (iEMG) 均呈下降趋势, 其中 FT 动作组 2.5G10s 载荷下右腓肠肌、3.0G60s 载荷下左右腹直肌及右腓肠肌、5.0G40s 载荷+KH-X 抗荷服下左腹直肌训练后的 iEMG 值下降差异均有统计学意义 ( $P$  均 $<0.05$ )。3.0G60s 载荷下, FT 动作组左胫骨前肌 iEMG 高于 HP 动作组 ( $P<0.05$ ); 4.0G50s 载荷+KH-X 抗荷服及 5.0G40s 载荷+KH-X 抗荷服下, HP 动作组左腹直肌 iEMG 高于 FT 动作组 ( $P$  均 $<0.05$ )。**结论** 表面肌电图评价结果表明, 适用于飞行教官的 FT 动作抗荷效果显著。

**[关键词]** 加速度; 飞行教官; 抗荷动作; 表面肌电图; 载人离心机

**[引用本文]** 杨景慧, 王海霞, 杨明浩, 等. 一种适用于飞行教官的新型抗荷动作的表面肌电图评价 [J]. 海军军医大学学报, 2023, 44 (9): 1113-1117. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20220222.

## Surface electromyography assessment of a new anti-G straining maneuver for flight instructors

YANG Jinghui<sup>1</sup>, WANG Haixia<sup>1</sup>, YANG Minghao<sup>1</sup>, LI Baohui<sup>1</sup>, TAN Qingpo<sup>2</sup>, XU Yan<sup>1\*</sup>

1. Department of Acceleration Physiology, Air Force Medical Center, Beijing 100142, China

2. No. 95809 Troop Hospital of PLA, Cangzhou 061000, Hebei, China

**[Abstract]** **Objective** To evaluate the anti-G effect of an anti-G straining maneuver (AGSM) for flight instructors proposed earlier by our research group using surface electromyography (sEMG). **Methods** Eight subjects aged 18-20 years were enrolled. The test equipment was AMST-HC-4E manned centrifuge. According to the performance and load characteristics of primary and advanced trainers, 5 centrifuge acceleration curves of 3.0G60s, 4.0G50s, 5.0G40s, 6.0G30s and 7.0G20s were compiled to evaluate the anti-G effect of FT maneuver and HP maneuver, respectively. At the same time, sEMG was used to observe the changes of muscle strength and muscle activation of 2 AGSMs before and after training under different loads. **Results** After training, the G tolerance of subjects using FT maneuver and HP maneuver was significantly higher than that before training. Compared with before training, the G tolerance of subjects in FT maneuver group increased by 60.8%, HP maneuver group increased by 34.6%, FT maneuver+KH-X anti-G suit group increased by 50.5%, and HP maneuver+KH-X anti-G suit group increased by 51.7% (all  $P<0.05$ ). The results of sEMG test showed that muscle integrated electromyography (iEMG) of subjects using FT maneuver and HP maneuver all showed a downward trend after training. Significant differences were found in the decrease of iEMG values of the right gastrocnemius muscle under 2.5G10s load, left and right rectus abdominis muscle and right gastrocnemius muscle under 3.0G60s load, and left rectus abdominis muscle under 5.0G40s load+KH-X anti-G suit before and after training (all  $P<0.05$ ). Compared with HP maneuver, left anterior tibial muscle iEMG of subjects using FT maneuver under 3.0G60s load was significantly higher ( $P<$

[收稿日期] 2022-03-16 [接受日期] 2022-07-01

[基金项目] 军内科研项目 (KJ20182A030137). Supported by Military Scientific Research Project (KJ20182A030137).

[作者简介] 杨景慧, 硕士, 实验师. E-mail: YJH0911hui@163.com

\*通信作者 (Corresponding author). Tel: 010-66927168, E-mail: afmcxuyan@126.com

0.05). The left rectus abdominis muscle iEMG of subjects using HP maneuver was significantly higher than that of subjects using FT maneuver in 4.0G50s load+KH-X anti-G suit and 5.0G40s load+KH-X anti-G suit groups (both  $P<0.05$ ).

**Conclusion** sEMG assessment has showed that the anti-G effect of FT maneuver proposed for flight instructors is good.

**[Key words]** acceleration; flight instructors; anti-G straining maneuver; surface electromyography; human centrifuge

**[Citation]** YANG J, WANG H, YANG M, et al. Surface electromyography assessment of a new anti-G straining maneuver for flight instructors[J]. Acad J Naval Med Univ, 2023, 44(9): 1113-1117. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20220222.

在连续自由空战及体系对抗等新型训练模式下,飞行员常处于高G高增长率环境,载荷作用时间长且高载荷作用反复出现,空中意识丧失(G-induced loss of consciousness, G-LOC)发生率显著增加,对飞行安全构成严重威胁。正确有效的抗荷动作(anti-G straining maneuver, AGSM)是预防G-LOC的一项重要措施<sup>[1]</sup>。常用的AGSM包括L-I、M-1及HP动作,其中HP动作已在我军战斗机飞行员中广泛应用,抗荷效果显著。AGSM的要点是下肢及腹部肌肉的持续性紧张用力并配合呼吸动作。飞行教官在飞行带教时需发出话语指令,无法做抗荷呼吸动作以维持较高的胸内压,因此对其下肢及腹部肌肉力量的要求更高。本课题组前期针对这一情况提出了适用于飞行教官的AGSM(FT动作)<sup>[2]</sup>,本研究设计了专项体能训练方案,利用表面肌电技术观察在加速度载荷下采用2种AGSM训练前后肌肉用力变化及肌肉激活情况,评估FT动作的抗荷效果,为有针对性地指导飞行教官进行AGSM与抗荷体能训练提供依据。

## 1 对象和方法

**1.1 研究对象** 纳入体检合格受试者8人,均为男性,年龄18~20(18.75±0.83)岁,身高(1.71±0.02)m,体重(63.89±4.40)kg。受试者无严重消化道、呼吸道、心血管及神经系统等疾病病史,无传染病病史,排除脊柱弯曲畸形、重度扁平足及体弱多病者。本研究经空军特色医学中心伦理委员会批准,所有受试者均已签署知情同意书。

### 1.2 方法

**1.2.1 专项体能训练方案** 训练目标主要以训练腹部及下肢肌肉为主,训练方式为力量训练。每周训练3次,隔天进行。受试者完成训练动作学习后,单个动作重复次数由10最大重复次数(repetition maximum, RM)起,训练过程中根据训练情况调整负荷重量,每次训练前均进行热身,训练后进行

肌肉放松,训练周期为3个月。

本训练方案同时强调力量动作与HP动作<sup>[3]</sup>呼吸节奏的配合,以保证做动作时维持较高的胸内压。训练过程中要求受试者熟练掌握HP动作及FT动作<sup>[2]</sup>要领。

**1.2.2 测量指标及方法** 试验设备采用空军特色医学中心AMST-HC-4E型载人离心机(奥地利AMST技术公司),主臂8.0m,可产生三轴向加速度,最大加速度增长率为10G/s,舱内装有1个红色中央灯及2个白色周边灯以判断受试者的视觉变化;采用空军特色医学中心研制的飞行员生理参数记录检测仪记录飞行员生理信号;抗荷供氧装备采用歼-XXB飞机的抗荷供氧系统,包括KH-X抗荷服、KH-X抗调器、YX-X氧气系统。

**预编程载荷谱:**根据初教机与高教机飞机性能、载荷特点及飞行教官带教需求,编制5条离心机加速度曲线,5条预编程曲线分别为3.0G60s、4.0G50s、5.0G40s、6.0G30s及7.0G20s。所有曲线增长率和下降率均设定为1G/s。

**FT动作与HP动作离心机对比试验:**设计4组试验分别测量训练前后受试者采用FT及HP动作时的抗荷耐力情况。(1)FT动作组(FT组):受试者在载荷峰值持续发出初教机指令,同时做FT动作,加速度曲线从3.0G60s开始;(2)HP动作组(HP组):受试者做HP动作,加速度曲线从3.0G60s开始;(3)FT动作+KH-X抗荷服组(FT+KH-X组):采用FT动作、穿KH-X抗荷服,在载荷峰值持续发出高教机指令,加速度曲线从4.0G50s开始;(4)HP动作+KH-X抗荷服组(HP+KH-X组):采用HP动作、穿KH-X抗荷服,加速度曲线从4.0G50s开始。所有试验曲线加载前均进行2.5G10s初始运行,然后根据不同试验设置的起始载荷,依次加载5条加速度曲线,直至耐力终点。

**抗荷耐力测量指标:**抗荷耐力测量指标包括完

成最大载荷、载荷曲线耐受时间。因载荷大小与时间对个体同样重要,为综合反映受试者抗荷耐力水平,本课题组提出“G耐量”概念<sup>[2]</sup>,该指标满足以下公式:

$$G^2 = \sum_{i=1}^n (G_i \times t_i)$$

式中, G' 表示抗荷耐量, G 表示载荷, t 表示负荷持续时间 (s), i 表示循环次数。

表面肌电测量: 本研究表面肌电测试设备采用 Noraxon Ultium EMG 无线表面肌电测试仪, 电极片使用一次性蓝点电极。测量肌肉选择双侧腹直肌、双侧股直肌、双侧胫骨前肌及双侧腓肠肌, 具体测量方法见参考文献 [4]。由于不同载荷持续时间不同, 本研究对训练前后及不同载荷下表面肌电值时域分析采用了时间标准化的方法。因通过 6.0 G 以上载荷人数受试者完整表面肌电数据较少, 本研究仅分析受试者在 2.5~5.0 G 载荷下表面肌电数值的变化。

1.3 统计学处理 应用 SPSS 19.0 软件进行统计学分析。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示, 训练前后数据的比较采用配对 t 检验。检验水准 ( $\alpha$ ) 为 0.05。

## 2 结果

2.1 训练前后各组 G 耐量变化 训练后 FT 与 HP 组受试者抗荷耐量均较训练前增加, 与训练前相比, FT 组抗荷耐量增加 60.8%, HP 组抗荷耐量增加 34.6%, FT+KH-X 组抗荷耐量增加 50.5%, HP+KH-X 组抗荷耐量增加 51.7%, 差异均有统计学意

义 ( $P$  均  $< 0.05$ ); 训练前, FT 组抗荷耐量低于 HP 组, FT+KH-X 组低于 HP+KH-X 组 ( $P$  均  $< 0.05$ ); 训练后, FT 组与 HP 组抗荷耐量无明显差异, 但 HP+KH-X 组仍高于 FT+KH-X 组 ( $P < 0.05$ )。见图 1。

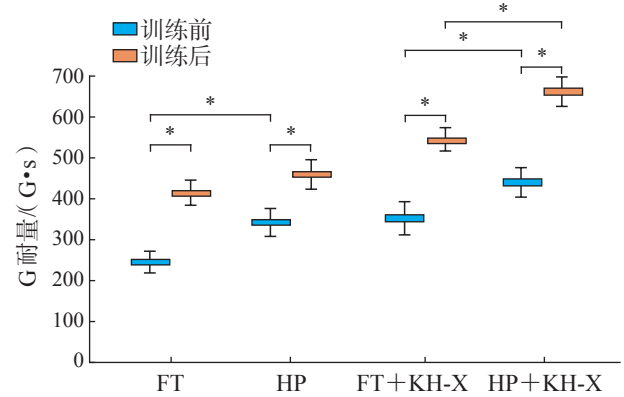


图 1 训练前后 FT 及 HP 动作 G 耐量变化

\* $P < 0.05$ .  $n = 8$ ,  $\bar{x} \pm s$ .

2.2 训练前后各组表面肌电变化 随着载荷增加, 所有肌肉激活程度增加 (图 2)。训练后, FT 组及 HP 组的积分肌电值 (integrated electromyography, iEMG) 均呈下降趋势, 其中 FT 组 2.5G10s 载荷下右腓肠肌、3.0G60s 载荷下左右腹直肌及右腓肠肌、5.0G40s 载荷+KH-X 抗荷服下左腹直肌训练前后的 iEMG 值差异均有统计学意义 ( $P$  均  $< 0.05$ )。训练前, 3.0G60s 载荷下 FT 组的左胫骨前肌 iEMG 高于 HP 组 ( $P < 0.05$ ), 4.0G50s 载荷+KH-X 抗荷服及 5.0G40s 载荷+KH-X 抗荷服下 HP 组的左腹直肌 iEMG 高于 FT 组 ( $P$  均  $< 0.05$ )。见表 1。



图 2 表面肌电图随载荷增加的变化

由表 1 还可以看出, 训练前 FT 组腹直肌激活程度均较训练前下降, 两组腹直肌激活程度趋于相近, 但 FT 组胫骨前肌激活程度较 HP 增强, 尤其在大载荷情况下。

由表 1 还可以看出, 训练前 FT 组腹直肌激活程度均较训练前下降, 两组腹直肌激活程度趋于相近, 但 FT 组胫骨前肌激活程度较 HP 增强, 尤其在大载荷情况下。



表1 不同载荷下 FT 及 HP 动作训练前后 iEMG 值的变化

(μV · s), n=8,  $\bar{x} \pm s$

载荷	肌肉类型	侧别	训练前		训练后	
			FT组	HP组	FT组	HP组
2.5G10s	腹直肌	左	2 989.4±2 337.9	3 865.6±2 123.8	2 159.0±971.8	1 825.9±1 213.6
		右	3 669.3±2 911.4	3 525.1±1 292.9	2 462.8±2 483.3	2 309.0±1 793.7
	股直肌	左	3 201.3±1 305.3	4 653.8±3 185.5	3 390.6±1 679.3	3 493.0±2 466.3
		右	3 309.5±1 308.1	3 373.6±1 580.2	4 585.2±2 921.5	4 710.6±2 795.7
	胫骨前肌	左	5 034.4±6 163.8	1 951.7±880.3	1 754.2±2 956.2	1 690.7±1 911.4
		右	3 321.4±3 341.2	3 316.3±2 672.0	1 630.5±1 412.7	1 139.8±647.6
	腓肠肌	左	3 728.2±3 565.1	3 510.0±1 618.4	1 908.6±1 553.9	2 235.8±1 673.1
		右	3 446.6±2 803.4	3 465.6±2 799.9	1 239.8±711.6*	1 777.3±889.8 <sup>△</sup>
3.0G60s	腹直肌	左	2 994.4±2 085.1	3 865.6±2 123.9	2 095.7±1 229.7*	1 787.3±609.5
		右	3 355.3±764.2	3 525.1±1 292.9	1 459.7±990.3*	1 924.8±467.7
	股直肌	左	4 053.8±2 081.2	4 653.9±3 185.5	3 882.2±1 892.6	3 796.9±2 435.7
		右	4 897.7±1 820.5	3 373.7±1 580.2	4 696.3±2 552.2	5 496.2±3 582.2
	胫骨前肌	左	3 645.5±2 413.4	1 951.8±880.3 <sup>△</sup>	1 423.7±1 248.5	2 046.4±1 839.1
		右	3 174.2±2 223.7	3 316.3±2 672.0	2 752.2±1 556.9	1 555.5±1 431.1
	腓肠肌	左	3 956.6±3 093.1	3 510.0±1 618.4	1 739.0±859.9	2 596.3±1 670.6
		右	4 118.7±2 652.8	3 465.6±2 799.9	1 307.4±925.4*	3 212.1±3 910.1
4.0G50s+KH-X	腹直肌	左	2 533.7±1 404.2	4 245.6±1 703.3 <sup>△</sup>	2 439.9±1 385.9	3 351.7±1 062.9
		右	2 378.7±1 240.9	8 457.5±14 401.7	2 155.4±661.0	2 789.7±951.9
	股直肌	左	3 241.4±1 980.1	3 221.1±2 662.6	5 170.7±2 613.6	3 216.7±1 662.4
		右	3 255.7±2 763.5	3 485.4±1 669.0	6 134.3±3 380.0	4 899.0±2 882.0
	胫骨前肌	左	3 710.2±2 395.1	3 707.7±3 029.2	2 546.1±3 158.4	1 477.2±734.1
		右	3 874.5±2 232.7	3 501.7±2 476.3	2 858.6±1 624.6	2 041.2±1 762.2
	腓肠肌	左	3 545.5±2 370.2	3 655.6±2 705.6	3 220.2±2 061.6	3 075.0±1 682.8
		右	3 962.5±3 435.9	8 547.0±13 959.3	3 316.7±2 560.2	2 030.6±1 568.5
5.0G40s+KH-X	腹直肌	左	3 792.2±2 205.6	5 956.4±1 475.4 <sup>△</sup>	3 199.7±1 868.9*	3 979.5±2 360.9
		右	2 560.2±942.8	3 430.8±2 778.3	3 090.4±2 127.1	2 081.8±755.1
	股直肌	左	3 021.3±1 727.7	2 656.7±1 198.7	4 552.6±3 342.0	4 266.8±2 614.1
		右	4 015.7±3 788.9	2 868.6±671.7	5 682.3±3 959.0	4 694.9±3 402.4
	胫骨前肌	左	4 018.4±2 378.5	4 172.0±4 057.9	4 636.6±6 782.9	2 132.8±597.7
		右	4 986.2±4 584.4	3 680.4±1 727.6	3 787.4±3 320.7	2 995.2±1 531.9
	腓肠肌	左	4 418.7±3 598.9	3 254.4±2 195.9	3 747.4±3 058.2	3 197.4±2 456.8
		右	5 852.5±4 642.1	6 317.3±6 883.6	3 347.3±2 885.8	2 804.7±2 163.7

\*P<0.05 与训练前比较;<sup>△</sup>P<0.05 与FT组比较. iEMG:积分肌电值.

### 3 讨论

飞行员 AGSM 一般在航校即将开始基本特技飞行训练时由其飞行教官教授,飞行教官若因对 AGSM 重要性认识不到位、未掌握正确的 AGSM 及使用时机而采用了错误的教授方法,将会对飞行学员影响深远。不正确的 AGSM 一旦养成便难以纠正,而掌握正确的 AGSM 是保证高性能歼击机飞行员有效发挥战斗力、保证飞行安全的前提。本研究根据飞行教官指导带教需求,建立了针对飞行教官的抗荷体能训练方法及 AGSM 训练方法。

国内外对飞行教官抗荷训练及 AGSM 相关研

究较少。美国空军专门为参加飞行教官培训的飞行人员设置了离心机训练,要求所有参加教官培训的飞行人员必须参加 G 防护理论培训,必须完成离心机训练,且要求 T-37 教官抗荷耐力达到 5.5G15s, T-38 教官达到 7.0G15s<sup>[5]</sup>。AGSM 的效果是以强有力的体能为基础的,下肢及腹部肌肉的持续性紧张是 AGSM 的重要部分,其中腿部、腹部肌肉作为 AGSM 主要参与肌肉显得最为重要<sup>[6-8]</sup>。飞行教官做 AGSM 时腹部及下肢肌肉有效同步收缩,可以在心脏搏出血液到头部之前使蓄积在这些部位的血液快速挤压回胸部血管,保证充足中心循环血量,因此开展有针对性的飞行员抗荷肌肉训练有很

高的实际应用价值。与普通飞行员不同,飞行教官因其带教工作的特点,飞行过程中需发出指令,导致其无法保持有效的呼吸节律,传统的AGSM并不适用于飞行教官。本课题组徐艳等提出适用于飞行教官的AGSM——FT动作<sup>[3]</sup>,并针对FT动作特点对受试者进行专项训练,结果显示训练后FT组及HP组(包括FT+KH-X及HP+KH-X组)G耐量均显著提高,FT组G耐量增长幅度更显著,表明专项训练可有效提高受试者抗G耐力。同时HP组训练前后抗荷耐量均高于FT组,表明抗荷呼吸对飞行员抗荷耐力的影响不容小觑,飞行教官在无法保证规范的抗荷呼吸情况下,需建立更加强大的腹肌及下肢肌肉群以保证AGSM的实施效果。

近年来,表面肌电技术在众多领域均有应用,国外有研究利用表面肌电技术检测飞行员载荷下腓肠肌肌电特征变化,以期发现G-LOC预警的新的预测指标<sup>[9-10]</sup>。本研究将表面肌电技术引入载人离心机试验,通过iEMG变化观察肌肉变化。iEMG是指一段时间内肌肉参与活动运动单位的放电总量,是代表肌肉激活的指标,可反映单位时间内肌肉的收缩性<sup>[11]</sup>,iEMG值持续增加,说明需要动员较多的肌肉才能完成该动作。本研究结果显示与训练前相比,训练后完成相同载荷时腹直肌、下肢胫骨前肌及腓肠肌iEMG值下降,说明肌肉用较少的激活即能达到相同的抗荷目标,肌肉力量输出效率提高。训练前,FT组受试者腹直肌激活程度低于HP组,这可能与受试者做FT动作需配合说指导语有关。尤其在较大载荷下,2种动作腹直肌iEMG差异更加明显。经过体能训练,2种动作腹直肌激活程度趋于相似或差异不大,反映出经过有效的抗荷体能训练后受试者能够熟练运用AGSM,读指导语的同时适当兼顾腹直肌持续用力。此外,与抗荷耐量结果相呼应的是,不同载荷情况下,尤其是经历大载荷时,FT组下肢表面肌电iEMG值高于HP组或与HP组相近,说明即使下肢肌肉用力相同或者FT组用力更大,使用HP动作的受试者表现出的抗荷耐力依然更强,从生理层面说明呼吸训练对有效实施AGSM的重要性。

为保证受试者安全,本研究中受试者在大载荷时如出现灰视等视觉变化即刻将FT动作转为HP动作,待视觉恢复后再继续使用FT动作。可见在满足带教需求的同时,飞行教官也须同时掌握HP

动作的正确用法,以保证自身的抗荷需要。

本研究中受试者均较年轻,且身材匀称、体能水平相近,而飞行教官平均年龄较大、身材和体能水平各异,如能对飞行教官群体进行训练及评估可获得更加客观的结果。

## [参考文献]

- [1] GILLINGHAM K K, FOSDICK J P. High-G training for fighter aircrew[J]. *Aviat Space Environ Med*, 1988, 59(1): 12-19.
- [2] 徐艳,王海霞,张向阳,等.适用于飞行教官的FT动作抗荷效果评价[J]. *空军医学杂志*, 2021, 37(5): 379-382. DOI: 10.3969/j.issn.2095-3402.2021.05.003.
- [3] 耿喜臣,金朝,徐艳,等.新的抗荷动作:HP与PHP动作抗荷效果的评价[J]. *中华航空航天医学杂志*, 2002, 13(4): 209-213. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-6239.2002.04.001.
- [4] 杨景慧,王海霞,耿喜臣,等.基本空战动作“检查6点钟”姿势腰背训练方案的表面肌电图特征研究[J]. *航天医学与医学工程*, 2020, 33(3): 196-202. DOI: 10.16829/j.cnki.1002-0837.2020.03.002.
- [5] 刘保钢,王月娥.美国空军飞行人员离心机训练制度和特点[J]. *中华航空航天医学杂志*, 2015, 26(2): 155-160. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-6239.2015.02.020.
- [6] LOHRBAUER L A, WILEY R L, SHUBROOKS S J, et al. Effect of sustained muscular contraction on tolerance to +Gz acceleration[J]. *J Appl Physiol*, 1972, 32(2): 203-209. DOI: 10.1152/jappl.1972.32.2.203.
- [7] WHINNERY J E, GONDEK M R. Medical evaluation of G-sensitive aircrewmen[J]. *Aviat Space Environ Med*, 1978, 49(8): 1009-13.
- [8] 罗新民,李诗伟,王红.高性能战斗机和歼击机飞行员肌力协调抗荷训练的效果分析[J]. *中华航空航天医学杂志*, 2001, 12(4): 197-200. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-6239.2001.04.001.
- [9] KIM S, CHO T, LEE Y, et al. G-LOC warning algorithms based on EMG features of the gastrocnemius muscle[J]. *Aerosp Med Hum Perform*, 2017, 88(8): 737-742. DOI: 10.3357/amhp.4781.2017.
- [10] CHOI B, LEE Y, CHO T, et al. Detection of G-induced loss of consciousness (G-LOC) prognosis through EMG monitoring on gastrocnemius muscle in flight[C]//2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). August 25-29, 2015, Milan, Italy. IEEE, 2015: 7007-7010. DOI: 10.1109/EMBC.2015.7320005.
- [11] 李玉章.表面肌电在体育中的应用[M].上海:复旦大学出版社,2015:83.