

文章编号:1004-7220(2010)04-0239-05

· 航空生物力学专栏 ·

模拟跳伞着陆中踝关节防护对 下肢肌电活动性的影响

牛文鑫, 王 畅, 何 艳, 裴葆青, 樊瑜波

(北京航空航天大学生物与医学工程学院 生物力学与力生物学教育部重点实验室, 北京 100191)

摘要:目的 研究踝关节外固定防护在模拟半蹲式跳伞着陆中对下肢肌电(Electromyogram, EMG)活动性的影响及其性别差异。**方法** 男女各8名健康成人受试者从0.72 m高平台跳落,模拟半蹲式跳伞着陆。实验状态分赤足对照、佩戴护踝和绷带3组。测量其胫骨前肌、外侧腓肠肌、股直肌和股二头肌的肌电图。使用二因素方差分析评价防护和性别对EMG参数的影响。**结果** 使用护踝显著增加男性胫骨前肌触地前EMG幅值(赤足对照:266 μV ; 绷带:368 μV ; 护踝:552 μV),防护对其他EMG参数无显著性影响。**结论** 使用护踝仅对男性跳伞者有显著的防护作用;踝关节防护对膝关节EMG活动性无显著性影响。

关键词: 跳伞; 着陆; 肌电图; 踝关节; 护踝

中图分类号: R318.01, R857, R873 文献标志码: A

Effects of ankle stabilizers on electromyographic activities of lower-extremity muscles during simulated half-squat parachute landing

NIU Wen-xin, WANG Yang, HE Yan, PEI Bao-qing, FAN Yu-bo (*Key Laboratory for Biomechanics and Mechanobiology of Ministry of Education, School of Biological Science and Medical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China*)

Abstract; Objective To study effects of ankle stabilizer on electromyographic activities of lower-extremity muscles during the simulated half-squat parachute landing and its gender differences. **Method** Eight male and eight female healthy adults were required to jump from a platform of 0.72 m high to simulate half-squat parachute landing. The experiment was divided into 3 groups: the barefoot one as control group, the group wearing tapes and braces respectively. The electromyogram (EMG) of each subject's tibial anterior, lateral gastrocnemius, biceps femoralis and rectus femoralis was measured. Two-way ANOVA was used to analyze and evaluate the effect of the stabilizers and genders on EMG variables. **Results** The use of brace significantly increased the pre-landing EMG amplitude of the tibialis anterior for male (Control: 266 μV ; Tape: 368 μV ; Brace: 552 μV). The stabilizers had no significant effects on the other EMG parameters. **Conclusions** Semi-rigid ankle braces are capable of arousing more active EMG of male's ankle flexor during half-squat parachute landing, but female does not share this predominance. Ankle stabilizers have no significant effects on EMG activities for knee joints.

Key words : Parachutes; Landing; Electromyography; Ankle; Ankle brace

跳伞是一种具有高度危险性的活动。跳伞损伤 在飞行员弹射逃生、空降兵执行任务、民用飞机和热

收稿日期:2010-06-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10925208),国家重点实验室开放基金,中央高校基本科研业务费专项。

作者简介:牛文鑫(1980-),男,博士研究生,研究方向:航空航天生物医学工程,运动生物力学,肌骨系统生物力学。

通讯作者:樊瑜波(1965-),教授,博士研究生导师, Tel: (010)82339428; E-mail: yubofan@buaa.edu.cn.

气球跳伞运动着陆过程中非常普遍,对跳伞者的健康甚至生命造成很大威胁^[1-2]。超过80%的跳伞损伤发生在着陆阶段,其中超过70%是由着陆姿势不正确引起的^[1]。有研究证实,女性在跳伞运动中更容易受伤,不正确着陆姿势分别导致50%的男性跳伞损伤和72%的女性跳伞损伤。踝关节损伤是跳伞损伤的最常见形式,占有所有损伤的36%,其次是膝关节损伤,占18%^[1]。Amoroso等^[2]则发现,34%的男性跳伞损伤和50%的女性跳伞损伤为足踝损伤,而在大腿和膝关节的损伤都约为21%。这与体操着陆中膝关节,尤其是女性膝关节更容易损伤有所区别^[3-4]。

在美国空军,从1994年开始伞兵护踝(Parachute ankle brace, PAB)就成为伞兵的标准防护装备。美国军队调查认为不佩戴PAB进行跳伞是军事跳伞损伤主要风险因素之一^[5],而使用PAB可以使踝扭伤概率下降85%^[6]。尤其明显的是,PAB可以显著降低踝关节内翻扭伤,而不提高其他形式损伤的发生率^[5-6]。PAB不仅能够通过预防踝关节内翻而减小损伤率,而且还能增强感知力或本体感受^[5]。美国军队对多种护踝进行了实验和数值模拟研究^[7]。而同样的研究在国内没有得到充分认识^[8],跳伞护踝也没有被列为必需的装备配发。

护踝属于半刚性固定防护,可以有效控制踝关节扭转,但是舒适性很差,并有可能因防护过度而引起损伤。作为弹性固定防护,绷带为保护踝关节韧带扭伤提供了另外一种选择^[9]。绷带可以有效降低踝关节内翻速度,促进动力学神经肌肉防护机制的发挥^[10]。但是Sawkins等^[11]认为,绷带在降低踝关节扭伤率方面仅起到一种安慰剂效应。虽然多数研究认为护踝比绷带更能有效预防扭伤^[9],但是这些结论基本都是基于护踝能更有效地对关节活动进行显著,而关节运动学并不是评价预防措施的唯一标准。

基于以上所述,本文旨在研究模拟半蹲式跳伞着陆中使用半刚性护踝和弹性绷带对下肢肌电(Electromyogram, EMG)活动性的影响。因为在跳伞着陆中两性的表现存在差异,所以在本文研究中性别也作为一种影响因素被考虑。

1 材料与方法

16名健康成人受试者志愿参加本实验,其中8

名男性,年龄(24.5 ± 4.2)岁,体重(56.1 ± 23.5)kg,身高(170.9 ± 2.8)cm;8名女性,年龄(23.0 ± 0.9)岁,体重(51.1 ± 4.4)kg,身高(160.9 ± 5.9)cm。身高、体重和年龄选择尽量相差较小,以使其对个体差异性的影响最小。所有受试者都从高等院校高年级本科生或研究生中选取,以保证身体发育完全,并对动作要领和实验方案有较好的理解力。所有受试者至少最近6个月内下肢未受外伤或神经功能发生障碍。所有受试者日常都积极参加体育运动,每周至少3次,每次至少30min体育锻炼。

对所有受试者进行标准半蹲式跳伞着陆姿势培训。如图1所示,在正式实验过程中,受试者从高度为0.72m的平台跳落,以半蹲式跳伞着陆姿势右脚踏落于 Bertec FP4060-08-100 测力台(美国 Bertec 公司,采样频率1kHz)。受试状态为赤足对照组、护踝组和绷带组3种。实验采用的半刚性护踝为 McDavid A101(McDavid Knee Guard 公司,美国),弹性绷带为 SX911#(双星公司,中国江苏),都为市场购买获得。每位受试者每种状态进行成功测试5次,以保证取得具有足够代表性的EMG数据。实验过

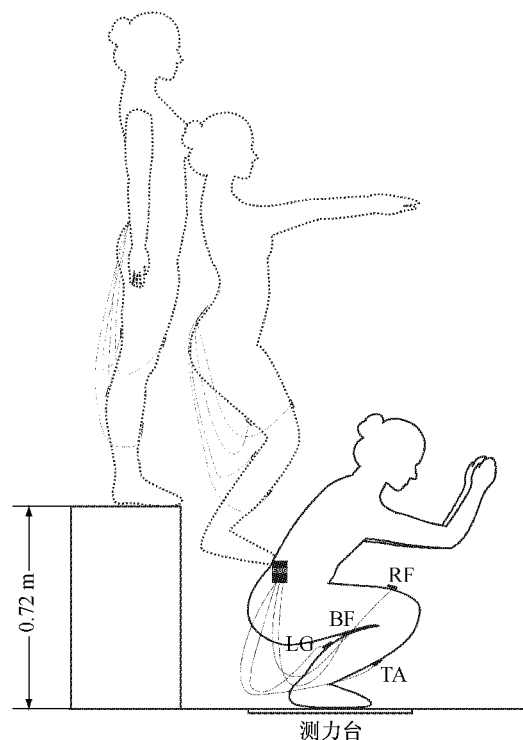


图1 半蹲式跳伞着陆模拟实验示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the simulated half-squat parachute landing experiment

程中状态次序保证随机性,以避免实验次序对结果造成的影响。每次动作间隔至少 60 s,以避免疲劳对结果造成的影响。所有受试者都身着短裤进行测试,暴露下肢以利于粘贴标志点和 EMG 电极。

应用 Bortec AMT-8 表面肌电仪(加拿大 Bortec 生物医学公司,采样频率 1 kHz)分别测量各状态着陆过程中胫骨前肌(Tibialis Anterior, TA)、外侧腓肠肌(Lateral Gastrocnemius, LG)、股直肌(Rectus Femoris, RF)和股二头肌(Biceps Femoris, BF) EMG 数据。通过在受试者身上贴银/氯化银一次性电极,连接导线到便携式单元,将肌电信号传送到放大器放大 500 倍后与测力台数据同步输出。两电极间隔保证约 20 mm,粘贴在对应肌肉的肌腹,并与肌纤维方向顺应。参考电极粘贴在右小腿内侧。所有电极粘贴前,应用无水乙醇轻拭粘贴位置,以去油干燥。粘贴时,肌肉做等长收缩,以对粘贴位置准确定位。通过轻拍电极、肢体被动运动和轻颤导线来确定去除伪影。实验前交替收缩要测量的肌肉,保证信号无串扰,EMG 信噪比小于 5%。

如图 2 所示,使用足触地时测力台数据从零附近开始单调增长为 0 时刻。跳落着陆动作从离开平台到 0 时刻被具体肌肉 EMG 起始反应时刻划分为两段,从离开平台到 EMG 起始反应时刻为 EMG 潜伏期,从 EMG 起始反应时刻到 0 时刻定义为触地前 EMG 持续期^[12-13]。从确定高度跳落,悬空时间是基本确定的,故这两个时间段中的一个确定,另一个也随之确定。所以在本研究中,仅将触地前 EMG 持续期作为时间分析参数。取图 2 所示的原始 EMG 数据绝对值,进行连续积分计算,对积分 EMG (Integrated EMG, IEMG)和整个积分时间段进行归一化处理。归一化的 IEMG 轨迹与斜率为 1 的参考线比较。归一化的 IEMG 斜率和参考线的距离 d 最大的时刻,被定义为 EMG 的初始触发时刻。这一点也意味着归一化 IEMG 对归一化时间的微分大于 1,所以是 EMG 活动性连续性积累的起点^[12]。同时,取 0 时刻前后各 100 ms 的平均 EMG 幅值作为触地前和触地后 EMG 幅值进行分析^[13]。这两个参数意义在于考虑连续时间段内 EMG 活动性的累积。

使用二因素方差分析(Two-way ANOVA)来判断防护状态(3 个水平:对照、护踝和绷带)和性别(2 个水平:男和女)对各测量参数的影响,以及 2 个因

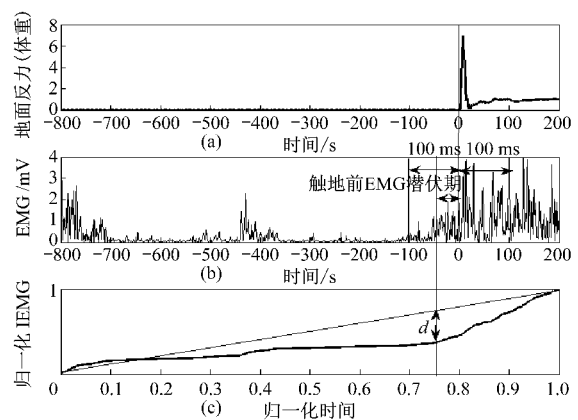


图 2 EMG 参数的定义 (a) 垂直方向地面反力时间曲线; (b) EMG 时间曲线; (c) 归一化的 IEMG 曲线

Fig.2 Method for defining EMG variables (a) Vertical ground reaction force history; (b) EMG history; (c) Normalized IEMG history

素之间的互相影响。统计分析置信区间为 95%,即 $P < 0.05$ 被认为具有显著性差异。所有统计学分析通过网络免费数据分析系统 VassarStats 进行 (<http://faculty.vassar.edu/lowry/VassarStats.html>)。

2 结果

统计分析结果如表 1 所示。踝关节防护和性别对所有肌肉的触地前 EMG 持续期都无显著性影响,两因素也无显著性交叉影响。无论触地前后,男性都比女性有更强的 TA 的 EMG 幅值。男性佩戴护踝能显著增强 TA 的触地前 EMG 幅值,而防护对女性 TA 无此影响。在触地前,男性有比女性更强的 TA 的 EMG 幅值。此外,踝关节防护和性别对其他 EMG 幅值都无显著性影响,两因素之间的显著性交叉影响。

3 讨论

在此前的研究中,已经提出使用右侧下肢实验数据来进行针对损伤预防的研究,其结论具有保守性^[14]。所有测量肌肉的触地前 EMG 持续期没有发现显著的固定或性别因素影响,或者两者的交叉影响。所以,肌肉的 EMG 活动性性质主要由 EMG 幅值确定。

Hopper 等^[15]在体育着陆研究对照组、绷带组和护踝组之间未发现显著性 TA 触地前 EMG 幅值

表1 踝关节外固定防护与性别对EMG参数的影响二因素方差分析统计结果($\bar{x} \pm sd$)Tab.1 The comparison of EMG variables among ankle stabilizers and between genders with two-way ANOVA ($\bar{x} \pm sd$)

参数		男 (n=8)			女 (n=8)		
		对照	绷带	护踝	对照	绷带	护踝
触地	TA	87.1 ± 52.9	82.8 ± 70.8	70.0 ± 58.5	87.1 ± 58.9	80.3 ± 70.3	89.5 ± 78.8
前EMG	LG	95.3 ± 36.9	76.5 ± 27.4	64.1 ± 23.9	97.5 ± 68.9	82.0 ± 20.5	87.4 ± 27.8
持续	RF	57.0 ± 40.6	73.8 ± 48.2	71.1 ± 31.6	62.5 ± 32.0	62.9 ± 25.4	58.1 ± 28.5
期/ms	BF	113.6 ± 45.6	108.0 ± 18.9	108.1 ± 44.2	110.4 ± 61.4	110.9 ± 68.5	109.6 ± 44.8
触地	TA * ^ ≠	266 ± 284	368 ± 294	552 ± 433	178 ± 193	202 ± 217	200 ± 219
前EMG	LG	134 ± 121	190 ± 144	225 ± 184	184 ± 90	131 ± 95	134 ± 131
幅值/	RF	351 ± 482	490 ± 785	413 ± 668	81 ± 170	73 ± 117	197 ± 475
μV	BF	1 001 ± 2 030	1 114 ± 1 872	1 541 ± 3 346	803 ± 928	804 ± 847	670 ± 1115
触地	TA ^	588 ± 306	875 ± 469	1186 ± 951	434 ± 395	436 ± 402	473 ± 443
后EMG	LG	312 ± 203	569 ± 514	1199 ± 1140	524 ± 284	548 ± 515	443 ± 314
幅值/	RF	714 ± 1158	691 ± 678	667 ± 536	476 ± 487	373 ± 459	476 ± 337
/μV	BF	1 169 ± 1 425	1 225 ± 1 170	1 206 ± 634	1 093 ± 1 156	1 186 ± 1 731	1 586 ± 1 955

注:TA,胫骨前肌;LG,外侧腓肠肌;RF,股直肌;BF,股二头肌;* ,显著的防护影响;^ ,显著的性别影响;≠ ,显著的固定因素和性别因素交叉影响。 $P < 0.05$ 代表统计学显著性差异。

差异,而发现佩戴护踝后腓肠肌触地前EMG幅值比对照组显著减小。这与本文研究发现有所不同。在本文试验中,佩戴护踝后TA触地前EMG幅值显著增大,而LG触地前EMG幅值则不受踝关节固定的显著性影响。Hopper等^[15]的研究对象是跳跃着陆,这个动作可以分为跳跃和着陆两个亚动作;其中跳跃动作的积极性更明显,比着陆动作更依赖于腓肠肌的活动。触地前EMG活动性是由触地前100ms时间段内的EMG数据积分获得,该时间段介于跳跃和着陆两个动作之间。两个动作间隔时间很短,以至于由于跳跃动作而产生的EMG可能会影响到触地前EMG幅值的计算。

但是,需要指出的是,护踝对TA触地前EMG活动性的影响只是针对男性,而对女性则没有这种作用。在其他参数中未发现性别和固定因素的这种显著性交叉影响。也就是说,在半蹲式跳伞着陆中,护踝更容易激发男性踝屈肌EMG活动性。对于这个差异,需要更进一步的实验研究来揭示其机制。另外,男性TA在触地前后EMG活动性都比女性更大,而在LG的触地前后EMG活动性中却未发现任何显著的性别差异。此结论与笔者之前从不同高度跳落的对照组研究一致^[16]。也就是说,女性踝关节屈肌比男性较弱,而具有与男性同等的伸肌,弹性绷带和半刚性护踝无法改变这种踝屈肌-伸肌之间的

肌肉协同收缩性别差异性。而正是这种差异导致女性在着陆时更易于踝关节损伤。使用对踝关节屈肌活动性的影响存在显著的性别差异,所以对男性有效的护踝不应该被照搬用在女性跳伞者身上。

Gehring等^[3]研究发现,在跳落着陆时男性股外肌和BF的触地前EMG潜伏期显著比女性长。而在股内肌和RF的触地前EMG潜伏期中,这种趋势未造成显著性差异。在本文研究的RF和BF中,虽然在多数状态下能够观察到男性触地前EMG潜伏期比女性长的趋势,但都未形成显著性差异。这可能与不同实验所执行的动作要领不同有关,说明半蹲式跳伞着陆姿势与一般着陆动作具有差异性。

Lephart等^[17]通过对股四头肌和腓绳肌腱的等功能强度评价,发现在着陆过程中女性有显著降低的膝关节屈伸力矩极值。Russell等^[4]研究发现,在跳落着陆各阶段中两性之间不存在显著的膝关节协同收缩比差异。在排球着陆中,男运动员比女运动员有更强的股四头肌和腓绳肌腱膝关节屈伸力矩极值^[18]。Pappas等^[19]发现,在双足跳落或单足跳落中,RF和腓绳肌腱的EMG活动都无显著的性别差异性。在本文研究中,显著的性别差异仅体现在踝关节外固定实验的BF触地前EMG幅值上,并且男性的EMG活动性显著较大。这与对TA的性别差异非常类似,但是在膝关节上是否存在于踝关节相

同的防护机制性别差异,还需更严谨的进一步实验论证。

虽然 PAB 在美军中自 1994 年就成为标准的跳伞防护装备,但是有观点认为使用护踝有可能在降低踝关节损伤的同时影响膝关节的损伤概率。这种观点与体育界某些观点一致^[20]。因为这种观点的存在,直到 2001 年 PAB 才在美国航空学校训练中被采用。这归功于一系列研究发现 PAB 并没有增加对膝关节或髌关节的损伤发生率^[5-6]。本研究从一个侧面佐证了美军 PAB 使用效果流行病学调查结果。

虽然也有其他相关研究采用了同样多的受试者^[18],但是相对来说样本量还是偏小。由于受试者的选取非常严格,以满足身材、身体素质和年龄等要求,故扩大样本势必增大研究成本。其次,本课题采用的受试者并非实际的跳伞者。主要原因是伞兵或飞行员,尤其是其女性在国内非常难以实际接触。为了减轻由于并非实际跳伞者受试而引起的负面效应,采用的受试者都经过了严格的筛选,并在实验前经过了严格培训。在严格控制的实验室条件下,本研究关注着陆动作本身及其性别和防护影响,对实际跳伞中的其他因素简化,符合实验研究常规。

参考文献:

- [1] Ekeland A. Injuries in military parachuting: a prospective study of 4499 jumps [J]. *Injury*, 1997, 28(3): 219-222.
- [2] Amoroso PJ, Bell NS, Jones BH. Injury among female and male army parachutists [J]. *Aviat Space Environ Med*, 1997, 68(11): 1006-1011.
- [3] Gehring D, Melnyk M, Gollhofer A. Gender and fatigue have influence on knee joint control strategies during landing [J]. *Clin Biomech*, 2009, 24(1): 82-87.
- [4] Russell PJ, Croce RV, Swartz EE, *et al.* Knee-muscle activation during landings developmental and gender comparisons [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2007, 39(1): 159-169.
- [5] Knapik JJ, Craig SC, Hauret KG, *et al.* Risk factors for injuries during military parachuting [J]. *Aviat Space Environ Med*, 2003, 74(7): 768-774.
- [6] Schmidt MD, Sulsky SI, Amoroso PJ. Effectiveness of an outside-the-foot ankle brace in reducing parachuting related ankle injuries [J]. *Inj Prev*, 2005, 11:163-168.
- [7] Kasturi K, Kwok P, Lee C. Design and evaluation of protective devices for injury prevention during paratrooper landing [C]. 18th AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference and Seminar, Munich, Germany, 2005; AIAA 2005-1632.
- [8] 王旸,樊瑜波,牛文鑫,等. 女性半蹲式跳伞着陆运动中绷带和护踝对下肢防护的生物力学作用[J]. *医用生物力学*, 2009, 24(增): 83-84.
- [9] Verhagen EA, van Mechelen W, de Vente W. The effect of preventive measures on the incidence of ankle sprains [J]. *Clin J Sport Med*, 2000, 10(4): 291-296.
- [10] Wilkerson GB. Biomechanical and neuromuscular effects of ankle taping and bracing [J]. *J Athl Train*, 2002, 37(4): 436-445.
- [11] Sawkins K, Refshauge K, Kilbreath S, *et al.* The placebo effect of ankle taping in ankle instability [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2007, 39(5): 781-787.
- [12] Santello M, McDonagh MJN. The control of timing and amplitude of EMG activity in landing movements in humans [J]. *Exp Physiol*, 1998, 83(6): 857-874.
- [13] Santello M, McDonagh MJN, Challis JH. Visual and non-visual control of landing movements in humans [J]. *J Physiol-London*, 2001, 537:313-327.
- [14] 牛文鑫,樊瑜波,王旸,等. 半蹲式跳伞着陆运动生物力学双侧下肢对称性研究[J]. *医用生物力学*, 2009, 24(增): 138.
- [15] Hopper DM, McNair P, Elliott BC. Landing in netball: effects of taping and bracing the ankle [J]. *Br J Sports Med*, 1999, 33(6): 409-413.
- [16] Niu W, Wang Y, He Y, *et al.* Biomechanical gender differences of the ankle joint during simulated half-squat parachute landing [J]. *Aviat Space Environ Med*, 2010, 81(8):761-767.
- [17] Lephart SM, Ferris CM, Riemann BL. Gender differences in strength and lower extremity kinematics during landing [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2002,401: 162-169.
- [18] Salci Y, Kentel BB, Heycan C, *et al.* Comparison of landing maneuvers between male and female college volleyball players [J]. *Clin Biomech*, 2004, 19(6): 622-628.
- [19] Pappas E, Hagins M, Sheikhzadeh A, *et al.* Biomechanical differences between unilateral and bilateral landings from a jump: gender differences [J]. *Clin J Sport Med*, 2007, 17(4): 263-268.
- [20] McCaw ST, Cerullo JF. Prophylactic ankle stabilizers affect ankle joint kinematics during drop landings [J]. *Med. Sci. Sports Exerc*, 1999, 31(5): 702-707.