



感觉交互作用对自由式滑雪空中技巧运动员平衡能力影响的研究

程宇琦, 王新*

(沈阳体育学院, 辽宁 沈阳 110102)

摘要:目的:探究各种感觉系统的交互作用下,自由式滑雪空中技巧运动员平衡调控的差异性,揭示不同感觉输入对运动员平衡的影响程度。方法:以25名国家自由式滑雪空中技巧运动员(14男、11女)为研究对象。记录运动员稳定平面睁眼(T1)、稳定平面闭眼(T2)、非稳定平面睁眼(T3)、非稳定平面闭眼(T4)4种状态下维持平衡时压力中心(COP)的移动速度(SV),分析各种感觉功能的作用。结果:1)视觉受到干扰时,男、女运动员SV值均有显著增加($P<0.05$);2)本体感觉受到干扰时,男、女运动员SV值均有极显著增加($P<0.01$);3)视觉与本体感觉同时受到干扰时,男、女运动员SV值均有极显著性增加($P<0.01$);4)本体感觉未干扰与干扰对比,女运动员视觉感觉变化程度增加,男运动员视觉感觉变化程度较小;5)视觉感觉未干扰与干扰对比,男、女运动员本体感觉变化程度均增加;6)视觉与本体感觉同时干扰时,女运动员SV值变化程度为(55.83±9.59)%,男运动员SV值变化程度为(55.66±14.57)%。结论:1)男、女运动员在不同条件下维持自身平衡时前庭感觉作用均占有最大的比重,其次是本体感觉和视觉;2)运动员某种感觉系统受到干扰时,其他感觉系统会代替维持平衡能力;3)视觉或本体感觉受到干扰时,男、女运动员选择替代的感觉系统没有展示出相同的特征。

关键词:自由式滑雪空中技巧;感觉相互作用;感觉功能;平衡能力

中图分类号:G863.1

文献标识码:A

自由式滑雪空中技巧项目是我国冬奥会雪上优势技巧类项目,在落地过程中需要较强的平衡控制能力保持自身平衡,而复杂多变的动作技术结构和雪面物理因素干扰,使得在“动作-平衡动态耦合”状态下,运动员成功着陆难度增加。找出不同感觉作用对运动员的影响程度,对进行有效的针对性训练和提升运动员的平衡能力具有重要作用。

平衡能力已被发现与技巧类运动项目成绩显著相关(Taube et al., 2008; Viseux et al., 2019),水平更高的运动员表现出更强的平衡能力(Opala et al., 2018)。平衡能力较强的运动员可能会使脊椎在维持平衡时表现出神经适应,抑制脊柱反射的兴奋性和姿势任务中的肌肉拉伸反射,从而减少不稳定运动,提高平衡能力(Hrysomallis, 2011; Keller et al., 2018; Paillard et al., 2007)。这种神经适应对视觉输入的依赖较少,而更多地依赖于姿势控制的其他组成部分。如本体感觉减少对姿势控制的视觉贡献的必要性,提示应更多关注对平衡和运动表现至关重要的其他感觉输入(Chapman et al., 2008; Vuillermé et al., 2001)。有研究通过引入睁眼和闭眼条件来评估视觉功

能对姿势控制的影响程度,同时在直立姿势时扰乱本体感觉系统(Del et al., 2007; Petrofsky et al., 2012; Staines et al., 2001),但研究的结果并不一致。Allum等(1985)认为,姿势平衡的65%由前庭系统控制,35%依靠视觉和本体系统。Kahky等(2000)认为,视觉作用(35%)可能比本体感觉(26%)对平衡的影响程度更大。综上,目前对人体感觉系统作用评估尚无确切定论,对技巧类运动员感觉功能的评估研究仍较少。

人体平衡是一个复杂的信息组合过程,主要依赖于视觉系统、前庭系统、本体感觉系统相互协同作用达到自身的稳定(Peterka, 2002),这些输入不仅提供有关身体方向和位置的重要信息,而且还会相互作用(Khattar, 2012)。人体感觉系统具有不同的功能,感觉系统的减弱可能造

收稿日期:2020-06-22; 修订日期:2021-01-08

基金项目:国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项(2018YFF0300502);辽宁省重点研发计划(2020JH2/10300112)。

第一作者简介:程宇琦(1995-),男,在读硕士研究生,主要研究方向为运动损伤的预防与康复,E-mail:cyq2551@163.com。

*通信作者简介:王新(1974-),女,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为运动生物力学,E-mail:shin_wang@163.com。

成敏感程度降低, 从而影响人体平衡控制能力(Ishida et al., 2010)。当3种感觉系统受到干扰的情况下, 会出现自身姿势摇摆, 平衡能力受损(Carver et al., 2005)。

有研究评价了视觉感觉系统在平衡中所起到的作用, 视觉的干扰对于平衡能力会产生重要的影响, 视觉环境的改变会导致人体平衡控制能力较差, 在平衡控制较差的人中影响程度将会更加严重(Jacob et al., 1995)。当人体各种感觉系统之间存在不明确作用, 将很难评估自身在环境下自我运动和外部运动之间的区别, 导致人体平衡能力控制不稳定(Redfern, 2001)。

视觉信息在受到干扰下, 人体站立时维持平衡的能力还会受到自身本体感觉系统的影响。当人体发现自身本体感觉系统可以进行使用时, 平衡控制能力则会加强, 相反, 本体感觉缺乏时, 平衡控制能力下降。相较而言, 本体感觉削弱的人会更更多地依赖于视觉和前庭感觉(Redfern et al., 1994)。同样, Ivanenko(2018)研究健康人时发现, 视觉感觉系统剥夺的情况下, 本体感觉更多参与补偿, 在维持人体平衡过程中提供更大的作用。

人体在维持平衡时, 视觉感觉起着重要的作用, 尤其是前庭感觉较差的人将会更加依赖于视觉作用。前庭感觉较差的人对复杂的环境更加敏感, 可能会导致平衡较差和空间感知重新定位变得复杂, 虽然这种感觉敏感性的确切特征尚不明确, 但前庭感觉的缺乏将会引起更大身体摆动(Angelaki et al., 2008; Bergin et al., 1995)。

郭丽敏等(2003)评估了人体在维持平衡过程中各种感觉之间的相互作用, 通过平均速度作为评估姿势平衡的参数, 可以有效地提高试验结果的有效性, 采用不稳定平面可以将视觉、本体感觉进行精准分离, 对不同感觉系统的作用大小进行分别评估, 评价人体的平衡能力。本研究的目的是评估运动员各种感觉系统的贡献程度, 对运动员的感觉系统作用进行准确分析, 当运动员在比赛过程中遇到闭眼或落地时雪质的特殊情况下, 避免影响落地过程中的平衡稳定, 确保取得优异的成绩。本研究假设: 1) 运动员在不同条件下维持平衡时, 各种感觉交互作用影响程度不同; 2) 运动员单一感觉系统出现干扰时, 其他感觉系统会代替维持自身的平衡控制。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

25名自由式滑雪空中技巧国家队运动员(所有受试者均签署知情同意书), 其中, 男运动员14名, 身高(174.76±3.16)cm, 体重(69.93±5.19)kg, 年龄(21.43±3.98)岁; 女运动员11名, 身高(159.54±4.10)cm, 体重(55.77±9.30)kg, 年龄(19.45±5.00)岁。受试者完成了病史调查问卷, 以确定是否存在肌肉骨骼、神经或者其他影响单腿平衡能力的损伤。通过统计所有受试者6个月内

下肢都未有损伤。

1.2 测试方法

采用便携式平衡仪(Humac Balance, American)规格为65 cm×40 cm, 平衡仪记录受试者在站立过程中足底压力中心(COP)的移动情况, 并通过软件分析相关参数, 平台采样频率为100 Hz。测试时选择在安静房间中进行。海绵密度中等, 大小为65 cm×40 cm, 厚度为50 mm, 质地柔软、均一。

测试过程中, 要求受试者脱掉鞋袜站立, 并“尽可能保持身体躯干稳定和不动”, 在测试过程中, 全程保持安静, 给予受试者良好的测试环境。要求受试者将手放在臀部, 根据标准的测试方案, 受试者脚的第二跖骨底部与平衡仪的标记对齐。测试时受试者视线目光集中在一个直径5 cm的白色圆圈上, 这个圆圈与其视线平行, 放在距圆圈3 m外的墙上, 并避免出现任何其他动作。在整个实验过程中, 双眼目视前方, 保持轻微的髋部和膝关节弯曲。

测试4种不同条件下的静态站立姿势。为了控制单一感觉的干扰, 测试顺序依次为: T1: 站立于稳定平面, 睁眼; T2: 站立于稳定平面, 闭眼; T3: 站立于非稳定平面, 睁眼; T4: 站立于非稳定平面, 闭眼。每种条件下站立30 s, 不同平面条件下测试的间隔进行坐位休息(30 s), 选取COP移动的平均速度(SV)进行评价平衡稳定能力。

1.3 数据处理

所有数据使用SPSS 21.0进行分析处理, (SPSS, Chicago, Illinois), 结果用平均值±标准差($M\pm SD$)的形式展示, 概率水平设置为0.05为显著性差异, 数据采用配对样本 t 检验对COP的SV进行差异检验。

根据Lacour等(1997)测试方法, 采用“感觉评估整合”公式评价感觉交互作用:

评价视觉作用: $(T2-T1)/(T2+T1)$ 表示自身本体感觉未受到干扰, 视觉变化引起平衡能力变化的程度; $(T4-T3)/(T4+T3)$ 表示自身本体感觉受到干扰, 视觉变化引起平衡能力变化的程度。

评价本体感觉的作用: $(T3-T1)/(T3+T1)$ 表示自身视觉感觉未受到干扰, 本体感觉受到干扰引起平衡能力变化的程度; $(T4-T2)/(T4+T2)$ 表示自身视觉感觉受到干扰, 本体感觉受到干扰引起平衡能力变化的程度。

评价视觉和本体感觉同时作用: $(T4-T1)/(T4+T1)$ 表示自身视觉与本体感觉同时受到干扰时, 引起平衡能力变化的程度。

2 结果

2.1 不同条件下运动员SV变化差异

受试者在不同条件(T1、T2、T3、T4)、不同感觉下SV的结果如图1、图2所示。配对样本 t 检验结果显示, 视觉感觉受到干扰的情况下, 男、女运动员T2与T1、T4与T3

的SV差异显著($P < 0.05$);本体感觉受到干扰、视觉未受到干扰的情况下,男、女运动员T3与T1的SV差异显著($P < 0.01$);视觉与本体感觉同时受到干扰的情况下,男、女运动员T4与T1的SV差异显著($P < 0.01$)。

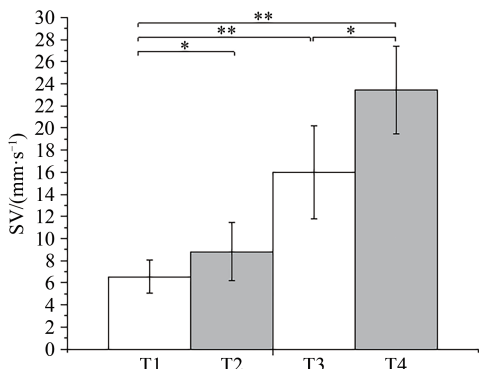


图1 女运动员不同平面SV

Figure 1. SV of Female Athletes in Different Surface

注:*表示 $P < 0.05$,不表示同条件有显著性差异;**表示 $P < 0.01$,不同条件有极显著性差异,下同。

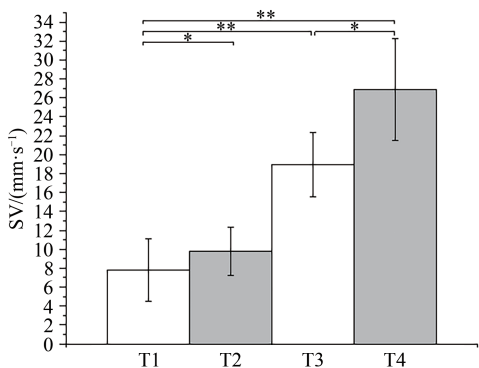


图2 男运动员不同平面SV

Figure 2. SV of Male Athletes in Different Surface

2.2 不同影响条件下SV变化程度

将运动员不同条件下的SV结果按照“感觉整合评估”公式进行计算,计算出在面对不同感觉干扰时运动员维持自身平衡稳定的变化情况,评价不同感觉作用的影响程度。

2.2.1 评价视觉作用

如图3所示,本体感觉受干扰的情况下,女运动员视觉变化引起SV的变化程度由(13.61±10.30)%上升至(21.42±12.02)%;男运动员视觉变化引起SV的变化程度由(18.15±10.14)%上升至(18.70±10.78)%。男运动员本体感觉受到干扰时视觉变化程度较小,女运动员则表现出相反情况,视觉变化程度增加。

2.2.2 评价本体感觉作用

如图4所示,视觉感觉受干扰的情况下,女运动员本体感觉引起SV的变化程度由(40.83±13.15)%上升至(45.43±12.74)%;男运动员本体感觉引起SV的变化程度

由(43.13±18.85)%上升至(47.72±8.47)%。男、女运动员视觉感觉受到干扰时,本体感觉作用变化程度均增加。

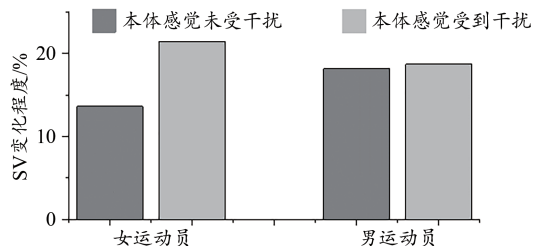


图3 本体感觉干扰与未干扰条件下SV变化结果

Figure 3. The Result of SV Changes under the Non-Interference and Interference Conditions of Visual Sensation

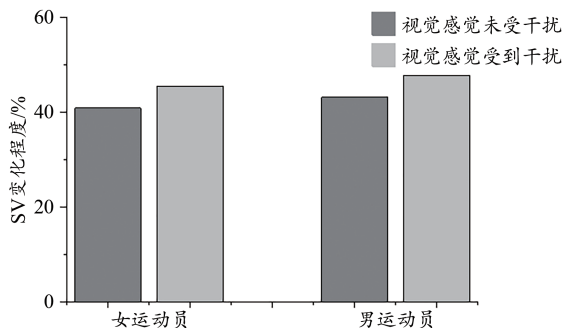


图4 视觉感觉干扰与未干扰条件下SV变化结果

Figure 4. The Result of SV Changes under the Non-Interference and Interference Conditions of Visual Sensation

2.2.3 本体感觉和视觉感觉同时干扰

视觉与本体感觉同时被干扰的情况下,女运动员SV的变化程度为(55.83±9.59)%;男运动员SV的变化程度为(55.66±14.57)%。其中各种感觉变化程度标准差较大,个体之间不同感觉系统对平衡能力的影响差异较大。

2.3 不同感觉作用影响程度分析

根据不同条件下SV的变化程度,参考郭丽敏等(2003)的公式 $[\bar{X}/(100 + \bar{X})]$,计算男、女运动员在不同条件下本体感觉、视觉与前庭3种感觉功能对维持平衡能力的重要程度(表1)。

表1 男、女运动员不同条件下感觉作用重要程度

Table 1 The Importance of Sensory Function in Male and Female Athletes under Different Conditions

| 性别 | 姿势 | 视觉作用/% | 本体感觉作用/% | 前庭觉作用/% |
|----|----|--------|----------|---------|
| 女 | T1 | 11.98 | 28.99 | 35.83 |
| | T2 | / | 31.24 | 68.76 |
| | T3 | 17.64 | / | 82.36 |
| 男 | T1 | 15.36 | 30.13 | 35.76 |
| | T2 | / | 32.30 | 67.70 |
| | T3 | 15.76 | / | 84.24 |

3 讨论

自由式滑雪空中技巧运动员需要在落地时达到稳定的姿势控制,提升比赛中落地的稳定性(马毅等,2014)。王新等(2011)研究影响自由式滑雪空中技巧动作难度相关因素指出,运动员完成难度动作的成功率多在50%~70%,优秀运动员为80%左右,落地动作的成功率已成为我国自由式滑雪空中技巧运动员获得冠军的关键因素。运动员在落地时站立阶段和滑行阶段都需要较强的姿势控制,平衡姿势控制需要人体视觉感觉系统、本体感觉系统和前庭感觉系统互相合作完成,不同感觉功能具有不同作用,当不同感觉系统受到挑战,会破坏相互协作能力,导致身体摇摆的改变,影响人体平衡能力(Goh et al., 2017)。

本研究表明,男、女运动员视觉与本体感觉中某一感觉受到干扰时,COP移动速度均显著增加,平衡稳定性较差,同时,男、女运动员视觉与本体感觉同时受到干扰的情况下,COP移动速度增加非常显著,姿势摆动加大,平衡稳定性明显降低。这与Peterka(2018)的研究结论一致,对条件进行改变时,人体感官系统也必须快速调整,以防止由于纠正措施不足或过剩而导致的不稳定。

姿势的稳定性依赖于多感觉系统信息的相互整合(Appiah et al., 2019)。评价视觉作用时,女运动员在T1条件下,视觉感觉系统占比11.98%、本体感觉作用占比28.99%、前庭感觉作用占比35.83%;T2条件下闭眼进行实验,视觉感觉不具有作用,本体感觉作用占比31.24%、前庭感觉作用占比68.76%;T3条件下通过泡沫垫对运动员的本体感觉进行干扰,视觉感觉占比17.64%、前庭感觉作用占比82.36%。在T1、T3条件下,视觉占总感觉的15.6%、17.64%,维持平衡过程中某种感觉系统受到干扰时,视觉影响作用有较小提升,女运动员视觉对平衡能力作用具有一定影响,但影响程度小于本体感觉和前庭感觉。男运动员在T1条件下,视觉感觉系统占比15.36%、本体感觉作用占比30.13%、前庭感觉作用占比35.76%;T2条件下,本体感觉作用占比32.30%、前庭感觉作用占比67.70%;T3条件下,视觉作用占比15.76%、前庭感觉作用占比84.24%。在T1、T3条件下,视觉占总感觉的18.90%、15.76%。

男、女运动员展示出相同特征。一方面,视觉对平衡能力作用具有影响,但影响程度小于本体感觉和前庭感觉,这与Allum等(1985)的研究结果一致。运动员长期在柔软的雪面和复杂的环境下进行比赛,空中的头部移动对运动员的平衡能力有更大的影响,长期的训练与比赛使运动员可以更多地依赖前庭感觉和本体感觉的作用。另一方面,当视觉感觉被消除时,人体会提升自身本体感觉来维持平衡能力,这与Pirôpo(2016)研究结果一致,视觉感觉被剥夺的情况下,本体感觉更多参与补偿,在平衡

控制中提供更大的作用。

男、女运动员也呈现出一定的差异。男运动员视觉功能占比在T3条件时小于T1,在本体感觉受到干扰时,男运动员将会更多地使用前庭感觉来代替本体感觉维持自身的平衡,而并不是通过更多的视觉感觉代替本体感觉,这表明,视觉系统功能在维持自身稳定过程中的作用较其他2种感觉功能更低。女运动员视觉功能占比在T3条件时大于T1,在本体感觉功能受到干扰的情况下,女运动员会选择增加视觉作用来维持自身的平衡能力,这与男运动员不同。不同运动员所应用的感觉信息和平衡维持策略有较大的个体差异,这可能是运动员日常生活和长期训练中的不同活动策略所引起(Kashlan et al., 1998)。

本研究的假设得到了验证。男、女运动员在T1、T2条件下的本体感觉作用占比均有增加,但增加程度较小。在视觉消除时,运动员虽然会增加本体感觉代替视觉功能,但主要仍然依靠提高前庭感觉维持自身的平衡。T1条件下3种感觉系统相互作用时,男、女运动员感觉作用的重要程度表现出同样特征,前庭感觉作用占比最高、视觉感觉作用占比最低,本体感觉与前庭感觉作用差距较小,运动员在维持自身平衡时,需要更多地注意提升影响程度较大的本体感觉与前庭感觉。

本研究在评估各种不同感觉交互作用时,可以通过闭眼完全消除视觉感觉作用。针对消除本体感觉作用,虽然刘波等(2007)提出利用站立与海绵垫方式可以有效消除本体感觉的输入,但不能完全消除全身的本体感觉输入,且由于项目的特殊性以及国家队人数原因,本研究测试的样本量有限,未来仍需要进一步研究。

4 结论

1)男、女运动员在不同条件下维持自身平衡时感觉的相互作用展示出相同特征,前庭感觉作用均占有最大的比重,其次是本体感觉和视觉,应针对前庭感觉进行有效训练,增加落地时的平衡稳定控制能力。

2)运动员视觉或本体感觉系统受到干扰时,其他感觉系统作用增加以维持人体平衡,比赛中面对雪质不适问题时,需要其他感觉作用替代维持平衡,较好的感觉功能配合会有效降低落地时失误差。

3)视觉或本体感觉受到干扰时,男、女运动员选择替代的感觉系统没有展示出相同的特征,应针对不同运动员制定不同的平衡训练策略。

参考文献:

- 郭丽敏,迟放鲁,2003.姿势平衡中的感觉相互作用[J].上海医学,26(4):258-261.
刘波,孔维佳,邹宇,2007.应用海绵垫干扰本体觉分析正常人姿势平衡中的感觉整合作用[J].临床耳鼻咽喉头颈外科杂志,21(4):162-165.

- 马毅,李男,王新,等,2014.我国自由式滑雪空中技巧优秀运动员出台和落地技术诊断指标的研究[J].中国体育科技,50(1):107-111.
- 王新,马毅,郝庆威,等,2011.自由式滑雪空中技巧技术诊断体系的研究[J].沈阳体育学院学报,30(2):4-7.
- ALLUM J H J, PFALTZ C R, 1985. Visual and vestibular contributions to pitch sway stabilization in the ankle muscles of normals and patients with bilateral peripheral vestibular deficits [J]. *Exp Brain Res*, 58(1): 82-94.
- ANGELAKI D E, CULLEN K E, 2008. Vestibular system: The many facets of a multimodal sense [J]. *Annu Rev Neurosci*, 31(1): 125-150.
- APPIAH-KUBI K O, WRIGHT W G, 2019. Vestibular training promotes adaptation of multisensory integration in postural control[J]. *Gait Posture*, 73: 215-220.
- BALL K, BEST R, WRIGLEY T, 2003. Body sway, aim point fluctuation and performance in rifle shooters: Inter-and intra-individual analysis[J]. *J Sports Sci*, 21(7): 559-566.
- BERGIN P S, BRONSTEIN A M, MURRAY N M, et al., 1995. Body sway and vibration perception thresholds in normal aging and in patients with polyneuropathy[J]. *J Neurol Neurosurg Ps*, 58(3): 335-340.
- CARVER S, KIEMEL T, VAN DER KOOIJ H, et al., 2005. Comparing internal models of the dynamics of the visual environment [J]. *Biol Cybern*, 92(3): 147-163.
- CHAPMAN D W, NEEDHAM K J, ALLISON G T, et al., 2008. Effects of experience in a dynamic environment on postural control [J]. *Brit J Sports Med*, 42(1): 16-21.
- DEL PERCIO C, BRANCUCCI A, BERGAMI F, et al., 2007. Cortical alpha rhythms are correlated with body sway during quiet open-eyes standing in athletes: A high-resolution EEG study [J]. *Neuroimage*, 36(3): 822-829.
- EL-KAHKY A M, 2000. Balance control near the limit of stability in various sensory conditions in healthy subjects and patients suffering from vertigo or balance disorders: Impact of sensory input on balance control[J]. *Acta Oto-Laryngol*, 120(4): 508-516.
- EL-KASHLAN H K, SHEPARD N T, ASHER A M, et al., 1998. Evaluation of clinical measures of equilibrium [J]. *Laryngoscope*, 108(3): 311-319.
- GOH K L, MORRIS S, LEE W L, et al., 2017. Postural and cortical responses following visual occlusion in standing and sitting tasks [J]. *Exp Brain Res*, 235(6): 1875-1884.
- HRYDOMALLIS C, 2011. Balance ability and athletic performance [J]. *Sports Med*, 41(3): 221-232.
- ISHIDA M, SAITOH J, WADA M, et al., 2010. Effects of anticipatory anxiety and visual input on postural sway in an aversive situation [J]. *Neurosci Lett*, 474(1): 1-4.
- IVANENKO Y, GURFINKEL V S, 2018. Human postural control[J]. *Front Neurosci*, doi: 10.3389/fnins.2018.00171.
- JACOB R G, REDFERN M S, FURMAN J M, 1995. Optic flow-induced sway in anxiety disorders associated with space and motion discomfort[J]. *J Anxiety Disord*, 9(5): 411-425.
- KELLER J L, HOUSH T J, SMITH C M, et al., 2018. Sex-related differences in the accuracy of estimating target force using percentages of maximal voluntary isometric contractions vs. ratings of perceived exertion during isometric muscle actions[J]. *J Strength Cond Res*, 32(11): 3294-3300.
- KHATTAR V, HATHIRAM B, 2012. The clinical test for the sensory interaction of balance[J]. *Int J Otorhinolaryngol Clin*, 4: 41-45.
- LACOUR M, BARTHELEMY J, BOREL L, et al., 1997. Sensory strategies in human postural control before and after unilateral vestibular neurectomy[J]. *Exp Brain Res*, 115(2): 300-310.
- OPALA-BERDZIK A, GŁOWACKA M, WILUSZ K, et al., 2018. Quiet standing postural sway of 10-to 13-year-old, national-level, female acrobatic gymnasts [J]. *Acta Bioeng Biomech*, 20(2): 117-123.
- PAILLARD T, BIZID R, DUPUI P, 2007. Do sensorial manipulations affect subjects differently depending on their postural abilities? [J]. *Brit J Sports Med*, 41(7): 435-438.
- PETERKA R J, 2002. Sensorimotor integration in human postural control[J]. *J Neurophysiol*, 88(3): 1097-1118.
- PETERKA R J, 2018. Sensory Integration for Human Balance Control [M]// *Handbook of Clinical Neurology*. Amsterdam: Elsevier: 27-42.
- PETROFSKY J S, ALSHAMMARI F, LEE H, et al., 2012. Electroencephalography to assess motor control during balance tasks in people with diabetes[J]. *Diabetes Technol Ther*, 14(11): 1068-1076.
- PIRÔPO U S, DOS SANTOS ROCHA J A, DA SILVA PASSOS R, et al., 2016. Influence of visual information in postural control: Impact of the used stabilometric analysis methods [J]. *Eur J Hum Movement*, 37: 21-29.
- REDFERN M S, FURMAN J M, 1994. Postural sway of patients with vestibular disorders during optic flow[J]. *J Vestibul Res Equil*, 4(3): 221-230.
- REDFERN M S, YARDLEY L, BRONSTEIN A M, 2001. Visual influences on balance[J]. *J Anxiety Disord*, 15(1-2): 81-94.
- STAINES R W, MCILROY W E, BROOKE J D, 2001. Cortical representation of whole-body movement is modulated by proprioceptive discharge in humans[J]. *Exp Brain Res*, 138(2): 235-242.
- TAUBE W, GRUBER M, GOLLHOFER A, 2008. Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance[J]. *Acta Physiol*, 193(2): 101-116.
- WISEUX F, BARBIER F, PARREIRA R, et al., 2019. Less than one millimeter under the great toe is enough to change balance ability in elite women handball players[J]. *J Hum Kinet*, 69(1): 69-77.
- VUILLERME N, TEASDALE N, NOUGIER V, 2001. The effect of expertise in gymnastics on proprioceptive sensory integration in human subjects[J]. *Neurosci Lett*, 311(2): 73-76.

(下转第24页)

Effects of Blood Flow Restriction and Combined High-Intensity Strength Training on Lower Limb Muscle Strength and Recruitment Ability of Paralympic Alpine Skiers

GENG Yu^{1,2}, WU Xueping^{1*}

1. School of Physical Education and Training, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China;

2. Jiyang College, Zhejiang A & F University, Shaoxing 311800, China

Abstract: Objective: To investigate the effects of blood flow restriction training (BFRT) with combined high-intensity strength training (COM) on the maximum muscle strength, muscle fiber recruitment capacity and rate of force development of lower limb muscles in Paralympic alpine skiers. Methods: Six athletes (3 males, 3 females) with an average age of 20.67 ± 1.34 years from the standing class of the National Paralympic Alpine Skiing Team participated in this study. According to the MVC test results of the knee extensor, the relative weak side of lower limb was set as the experimental side (BFRT intervention side), and the other side was set as the control side (non-BFRT intervention side). Athletes completed a set of 75% 1 RM high-intensity strength training firstly, which includes machine knee extensor and flexor exercises, leg-press, hip adduction and abductor exercises, etc. Then, 4 sets of 30% 1 RM leg press and machine knee extensor exercises were performed under the condition of experimental side pressure. The changes of maximal muscle strength, muscle fiber recruitment capacity and rate of force development before and after 2 weeks of the intervention were analyzed and compared. Results: 1) The maximum muscle strength of the experimental side was increased significantly ($P=0.001$); 2) The rate of force development was improved significantly in the experimental side ($P=0.042$); 3) There was no significant difference in RMS change rate of lateral vastus muscle and medial vastus muscle between the control side and the experimental side, the only difference was observed in rectus femoris muscle ($P=0.02$). Conclusions: The 2-week COM is more effective in improving the rate of force development and maximum strength of Paralympic alpine skiers' lower limb than that of traditional high-intensity strength training, and the COM can achieve training effects more quickly.

Keywords: blood flow restriction training; high intensity strength training; paralympic alpine skier; standing class; quadriceps muscle; maximum voluntary contraction; muscle fiber recruitment; rate of force development

(上接第18页)

Effect of Sensory Interaction on the Balance Ability of Freestyle Ski Aerials Athletes

CHENG Yuqi, WANG Xin*

Shenyang Sport University, Shenyang 110102, China

Abstract: Objective: To explore the difference of balance regulation of freestyle ski aerials athletes under the interaction of various sensory systems, and to investigate the influence of different sensory inputs on athletes' balance. Methods: Twenty-five national freestyle ski aerials athletes (14 males of 21.43 ± 3.98 years and 11 females of 19.45 ± 5.00 years) were tested. The sway velocity (SV) center of pressure (COP) was recorded in four conditions: stable surface eye opening (T1), stable surface eye closure (T2), unstable surface eye opening (T3) and unstable surface eye closure (T4), then the functions of various sensory were analyzed by (SV). Results: 1) The SV values of both male and female athletes were significantly increased when their vision was interfered ($P < 0.05$); 2) The SV values of both male and female athletes were significantly increased when their proprioception was interfered ($P < 0.01$); 3) The SV values of both male and female athletes were increased significantly when their vision and proprioceptive sensation were interfered at the same time ($P < 0.01$); 4) Compared with the condition of proprioception interference, the change degree of visual perception of female athletes were increased without interference, but the male athletes was relatively small; 5) Compared with the condition of visual sensation interference, the change degree of proprioceptive sensation of both male and female athletes were increased; 6) When vision and proprioception were interfered at the same time, the change degree of SV in female athletes was $(55.83 \pm 9.59)\%$, and that in male athletes was $(55.66 \pm 14.57)\%$. Conclusions: 1) Vestibular sensation has the main function for male and female athletes to maintain their balance under different conditions; 2) Other sensory systems will substitute the ability to maintain balance when a certain sensory system is disturbed; 3) The substituted sensory system in male and female athletes are not the same when the visual or proprioceptive sensation is interfered.

Keywords: freestyle skiing aerial skill; sensory interaction; sensory function; balance ability