



# 北京2022年冬奥会冰雪运动冻伤及颌面创伤 防护装备研究

## Research on Protective Equipment for Frostbite and Maxillofacial Trauma in Beijing 2022 Olympic Winter Games

王耀东<sup>1\*</sup>, 王侯杰<sup>1</sup>, 刘双<sup>2</sup>, 杜小兵<sup>2</sup>

WANG Yaodong<sup>1\*</sup>, WANG Houjie<sup>1</sup>, LIU Shuang<sup>2</sup>, DU Xiaobing<sup>2</sup>

**摘要:**目的:探究北京2022年冬奥会冰雪运动冻伤、颌面创伤防护装备的保护原理、保护程度、保护性能及不足之处。方法:根据国家标准及相关指标对冻伤、颌面创伤防护装备进行检测。结果:1)护脸、护臂、护膝的导热系数均高于 $0.12\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ,具有保温性能;水蒸气透过率分别为 $64.70\text{ g/m}^3\cdot 24\text{ h}$ 、 $517.14\text{ g/m}^3\cdot 24\text{ h}$ 和 $230.52\text{ g/m}^3\cdot 24\text{ h}$ ;远红外发射率均低于0.88,远红外温升均高于 $1.4\text{ }^\circ\text{C}$ ,具有远红外性能。2)头盔佩戴稳定性符合国家标准;顶部和侧向的冲击受力分别为 $323.0\text{ N}$ 和 $1\ 646.5\text{ N}$ ;侧向刚性为在 $430\text{ N}$ 的负荷下,产生 $1.2\text{ mm}$ 的最大变形, $0.1\text{ mm}$ 的残余变形;吸能性能方面,平砧试验和路缘石砧试验的峰值加速度均低于 $150\text{ m/s}^2$ ,符合国家标准。3)护颌的正面、侧面最大防护力分别为 $595\text{ N}$ 和 $585\text{ N}$ ,正面、侧面压缩变形分别为 $58.44\text{ mm}$ 和 $57.86\text{ mm}$ ;护齿的最大防护力为 $1\ 190\text{ N}$ ,在 $50\text{ mm/min}$ 的匀速穿刺下,最大防穿刺力为 $89\text{ N}$ 。结论:所测样品可以对冰雪运动中的冻伤、颌面创伤进行有效预防,但目前国内已有的检测冰雪运动防护装备的相关标准不能满足防护装备检测的需要,应尽快完善;此外,运动员应结合自身实际情况选择合适的防护装备进行佩戴,有效避免各类创伤。

**关键词:**科技冬奥;冰雪运动;冻伤;颌面创伤;防护装备

**Abstract:** Objective: To explore the protection principle, protection degree, protection performance and shortcomings of the protective equipment for frostbite and maxillofacial injury in the Beijing 2022 Olympic Winter Games. Methods: According to the national standard and related indexes, the protective equipment for frostbite and maxillofacial trauma were tested. Results: 1) The thermal conductivity of face guard, arm guard and knee guard were all higher than  $0.12\text{ W/m}\cdot\text{K}$ , showing thermal insulation performance. The water vapor transmittances were  $64.70\text{ g/m}^3\cdot 24\text{ h}$ ,  $517.14\text{ g/m}^3\cdot 24\text{ h}$  and  $230.52\text{ g/m}^3\cdot 24\text{ h}$ , respectively. Far infrared emissivity is lower than 0.88, far infrared temperature rise is higher than  $1.4\text{ }^\circ\text{C}$ , with far infrared performance. 2) Helmet wearing stability meets national standards. The top and side impact forces reach  $323.0\text{ N}$  and  $1\ 646.5\text{ N}$  respectively. The lateral rigidity is the maximum deformation of  $1.2\text{ mm}$  and residual deformation of  $0.1\text{ mm}$  under the load of  $430\text{ N}$ . In terms of energy absorption performance, the peak accelerations of flat anvil test and kerb anvil test are both lower than  $150\text{ m/s}^2$ , which meets the national standard. 3) The maximum front and side protective forces of jaw protection were  $595\text{ N}$  and  $585\text{ N}$ , and the front and side compression deformation were  $58.44\text{ mm}$  and  $57.86\text{ mm}$ , respectively; the maximum protective force of the mouthguard is  $1\ 190\text{ N}$ , and the maximum puncture resistance is  $89\text{ N}$  under the uniform puncture speed of  $50\text{ mm/min}$ . Conclusions: the tested samples can effectively prevent frostbite and maxillofacial injury in winter sports. Some existing standards can not meet the needs of the detection of equipment, so it should be improved as soon as possible. In addition, athletes should combine their own actual situation, choose appropriate protective equipment to wear, effectively avoid all kinds of trauma.

### 基金项目:

国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项(2019YFF0302400)

### \*通信作者简介:

王耀东(1978-),男,副教授,博士,主要研究方向为体育教育训练学,E-mail:11018046@qq.com。

### 作者单位:

1. 中国矿业大学(北京),北京 100083;  
2. 北京大学国际医院,北京 102206  
1. China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China;  
2. Peking University International Hospital, Beijing 102206, China.

**Keywords:** *Science and technology in Beijing 2022 Olympic Winter Games; ice and snow sports; frostbite; maxillofacial trauma; protective equipment*

**中图分类号:** G804.53 **文献标识码:** A

在北京 2022 年冬奥会、冬残奥会筹办备赛工作中,我国始终坚持以科技创新为核心,贯彻落实“绿色办奥、共享办奥、开放办奥、廉洁办奥”的办奥理念,把各方面安全保障放在第一位。正确使用防护装备是冰雪运动中预防运动损伤的重要策略,有效的运动损伤预防是运动员保持良好竞技能力和取得优秀运动成绩的重要保障。为帮助参加北京 2022 年冬奥会的运动员避免或减少冻伤及颌面创伤的影响,本研究对冻伤及颌面创伤防护装备进行研究,测试防护装备是否能对运动员提供保护、保护的程

度、保护的原理以及不足之处。运动损伤是指在运动员训练、比赛过程中发生的各类伤病。冰雪运动是体育运动的重要组成部分,其区别于其他运动的最显著特征便是环境因素,只有在温度足够低的环境下,冰雪运动才能正常开展,因而冻伤成为冰雪运动常见的运动损伤类型之一。在越野滑雪、高山滑雪等项目中,冻伤发生的概率较高,但目前鲜见冰雪运动中冻伤的损伤特征、流行病学调查等相关内容的详细研究(Fudge, 2016)。冻伤发生的根本原因在于参与者在寒冷环境下进行运动时没有选择适合的衣物,并且无法正确使用防冻伤装备,不了解暴露在寒冷环境下的应急处理方法。所以,合理选择衣物、正确使用防冻伤装备是预防冻伤的重要手段(Fudge, 2016)。大部分冰雪运动的竞技目标是追求更快的速度以及更精美的空中技巧,这便提高了颌面创伤的发生风险。颌面创伤也是冰雪运动常见的损伤类型之一(Finch, 2006),在高山滑雪、单板滑雪、冰球等项目中,颌面创伤发生的概率较高(Soligard et al., 2019)。已有研究证明,正确使用头盔、护齿等防护装备可以有效降低颌面创伤的发生率,减轻颌面创伤的严重程度(刘美含等, 2021; Black et al., 2017; Caglar et al., 2015; Russell et al., 2010)。因此,正确、合理地佩戴颌面防护装备对于预防颌面创伤具有重要作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 冻伤防护装备及颌面防护装备的选择

目前市场上可供选择的防护装备种类繁多,通过查阅文献,结合冰雪运动的特点和需要,确定了冻伤防护装备包括护脸、护臂、护膝,颌面防护装备包括头盔、护颧和护齿。通过对比同类产品的保护范围、外观、价位、单项运动协会及运动员的认可度,选择并购买各类防护装备中最具代表性的一种进行检测和研究。

### 1.2 防护装备评价标准

国家对于护脸、护臂、护膝等冻伤防护装备并没有出台专门的评价标准,因此本研究采用部分热力学指标、纺

织品远红外性能(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等, 2013)、绝热材料稳态热阻及有关特性(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等, 2008)的测试标准对护脸、护臂、护膝进行测试,分析其保护原理和保护效果。

在颌面防护装备中,本研究采用了部分力学指标及运动头盔相关国家标准进行检测(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等, 2009),但是该标准的设置是基于自行车、滑板、轮滑等运动,并不包含冰雪运动内容。护颧和护齿并没有相关标准可供参考,因此仅从最大防护力、形变程度等角度进行评价,分析防护装备的保护程度。

### 1.3 防护装备检测方法

护脸、护臂、护膝分别采用相关标准中的热流计法、远红外测试法和杯式水蒸气透过法进行检测。头盔按照相关标准进行检测,并测定相关力学指标。护颧和护齿固定在人体模型上之后,分别采用 10 kN 和 100 kN 的拉力机进行最大防护力实验,护齿还根据恒定的穿刺速度进行耐穿刺性的实验。所有检测实验均与北京中科光析化工技术研究所材料实验室合作完成,保证实验数据的真实性和有效性。

#### 1.3.1 护脸、护臂和护膝的检测方法

通过测量护脸、护臂和护膝的热阻及导热系数来衡量护具的保温性能,热阻及导热系数采用热流计法进行检测。采集长和宽各为 300 mm 的试样,放入样品试验槽后使用温度梯度热流计分别测试防护装备的热阻和导热系数。杯式水蒸气透过率测试过程:将干燥剂与试样表面相距 3 mm 放入干净透湿杯中,通过导正环固定样品位置并压盖,以密封蜡封住样品周围,露出圆形被侧面,对封好的透湿杯称重后放入温度(38±0.50)℃、相对湿度 90% 的恒温恒湿箱中,16 h 后从箱中取出,放入(23±2)℃环境下的干燥器中,平衡 30 min 后进行称量,称量后将透湿杯重新放入恒温恒湿箱内,以后每 2 次称量的间隔时间为 24、48 或 96 h,每次称量前均需进行平衡步骤,直到前后 2 次质量增量相差≤5% 方可结束试验。远红外辐射升温测试过程:试样表面至辐射源的距离为 500 mm,将调湿的试样待测试面朝向红外辐射源,测温仪传感器触点固定在试样受辐射的区域表面中心位置,记录试样表面初始温度  $T_0$ ,开启远红外辐射源,记录试样辐照 30 s 时的表面温度  $T$ ,计算  $\Delta T=T-T_0$ 。远红外发射率测试过程:将试验热板升温至 34℃,将标准黑体板放置在试验热板上,待测试值稳定后记录标准黑体远红外辐射强度  $I_0$ ,将调湿的试样放置在试验热板上,待测试值稳定后记录试

样的远红外辐射强度 $I$ ,计算 $\eta=I/I_0$ 。

### 1.3.2 头盔的检测方法

#### 1.3.2.1 头盔保护范围测定

通过相关标准要求确定头盔的保护范围及试验区域,试样的保护范围为图1中A~F线以上的区域,头盔的保护区域即为试验的区域。

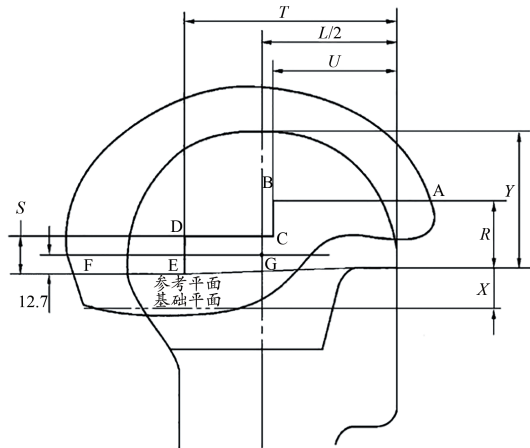


图1 头盔样品保护范围

Figure 1. Helmet Sample Protection Range

#### 1.3.2.2 头盔佩戴稳定性及佩戴装置动态强度测试

头盔佩戴稳定性的测试过程:将头盔固定在头模上,将弹力绳一端固定在头盔中间位置,另一端通过滑轮固定在砝码引导装置[装置质量为 $(3.0\pm 3.1)\text{kg}$ ],将质量为 $(10.0\pm 0.1)\text{kg}$ 的冲击砝码从 $(175\pm 5)\text{mm}$ 的高度释放,沿引导装置轨道自由坠落,观察头盔受到冲击后是否发生脱落及其他情况。

头盔佩戴装置动态强度测试过程:将头盔固定在试验台头模上,系带穿过模拟下颌并系紧,使总质量为 $(5.0\pm 0.5)\text{kg}$ 的加载装置自由作用在佩戴装置上维持30 s,随即确定标尺起始零位,使质量为 $(4.0\pm 0.2)\text{kg}$ 的冲击砝码从 $(600\pm 5)\text{mm}$ 的高度自由落下至终点挡板,利用标尺测出模拟下颌装置的动态最大位移,即为佩戴装置的动态伸长量。

#### 1.3.2.3 头盔冲击受力测试

将头盔按标准固定在头模上,保证帽箍与头模的接触为自然佩戴状态且稳定,用100 kN拉力机施加顶部或侧向受力,分别记录头盔所承受的最大冲击力值。

#### 1.3.2.4 头盔侧向刚性变形程度测试

将头盔侧放在两平板之间,使头盔外沿尽可能靠近平板,测试机通过一侧平板向头盔加压,在平板的垂直方向施加30 N的力,保持30 s,记录此时两平板的间距为Y1。然后以100 N/min的速度提升负荷直至430 N,保持30 s,记录此时两平板的间距为Y2。以100 N/min的速度将负荷降至25 N,然后立即以100 N/min的速度将负荷增加到30 N,保持30 s,记录此时两平板的间距为Y3。测量值应精确到1 mm,并记录可能出现的破坏现象。计算Y2与Y1的差值为最大形变,计算Y3与Y1的差值为残余形变。

#### 1.3.2.5 头盔吸收碰撞性能测试

将头盔固定在近似人体头部响应频率的金属结构头模上,在头模内的重心安装加速度传感器,在头盔的试验区随意选择4个薄弱的地方作为碰撞点,保证传感器的敏感轴与头模碰撞点法线夹角不大于 $5^\circ$ ,在每个碰撞点上进行1次冲击,其中2个碰撞点撞击平砧[由直径 $(130\pm 3)\text{mm}$ ,厚度为15 mm以上的钢板制成的平面],另外2个撞击路缘石砧[由2个石面组成,2个面相交于碰撞边缘,形成一个 $105^\circ\pm 0.5^\circ$ 的夹角,高度为 $(50\pm 2)\text{mm}$ ,长度为 $(125\pm 2)\text{mm}$ ],头盔碰撞平砧的冲击速度为6.2 m/s,碰撞路缘石砧的冲击速度为4.8 m/s,2个不同的冲击点相距不小于120 mm。

#### 1.3.3 护颚、护齿防护力测试

将护颚固定在头盔上,使用100 kN的拉力机分别测试护颚正面和侧面的最大防护力,当护颚产生明显形变且无法自行恢复时,记录负荷以及最大形变的数值。对护齿进行检测时,将护齿固定在牙齿模型上,以50 mm/min的穿刺速度进行耐穿刺试验,记录护齿的最大耐穿刺力。检测护齿最大防护力时,以牙齿模型没有出现损坏为标准,利用10 kN的拉力机对护齿进行检测,并记录最大数值。

## 2 结果

### 2.1 护脸、护臂和护膝的检测结果

护脸、护臂和护膝的热阻及导热系数测试结果显示(表1),护膝热阻最高、导热系数最低,护臂的热阻最低,护脸的导热系数最高。水蒸气透过率测试结果显示,护脸的水蒸气透过率显著低于护臂与护膝,护臂的水蒸气透过率是3种护具中最高的。远红外辐射温升和远红外发射率测试结果显示,3种护具均具有远红外功能,护臂的远红外发射率最高,护膝的远红外辐射温升最高。

表1 护脸、护臂、护膝检测结果

Table1 Test Results of Face Guard, Arm Guard and Knee Guard

	热阻 $[(-19.5\pm 0.1)^\circ\text{C}]/(\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1})$	水蒸气透过率 $(\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot 24\text{h}^{-1})$	温升/ $^\circ\text{C}$	远红外发射率	导热系数 $[(-30.1\pm 0.1)^\circ\text{C}]/(\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$
护脸	0.079 242	64.70	1.8	0.89	0.075 632
护臂	0.072 159	517.14	2.0	0.91	0.070 625
护膝	0.111 660	230.52	2.4	0.89	0.065 843

为了测定不同环境温度对试样热阻和导热系数的影响,分别对护脸、护臂和护膝的试样进行了 2 次实验。选择厚度一致的 2 块试样(厚度差距 $<0.01\text{ cm}$ ),分别在 $(-19.5\pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ 和 $(-30.1\pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ 的平均温度下进行实验。随着环境平均温度的降低,护脸、护臂、护膝的热阻分别从 $0.079\ 242$ 、 $0.076\ 775$ 和 $0.111\ 660\ \text{m}^2\text{K}/\text{W}$ 上升到 $0.081\ 182$ 、 $0.078\ 725$ 和 $0.114\ 970\ \text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ,3种护具的导热系数分别从 $0.077\ 232$ 、 $0.072\ 159$ 和 $0.067\ 974\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 下降为 $0.075\ 632$ 、 $0.070\ 625$ 和 $0.065\ 843\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,这表明在 $(-19.5\pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ 至 $(-30.1\pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ 这一温度区间内,护具的保温效果会随着环境平均温度下降而提高,可以维持保温性能。

## 2.2 头盔检测结果

经佩戴稳定性测试后,头盔未从头模上脱落,表示稳定性良好。经佩戴装置动态强度测试发现,头盔的佩戴装置动态伸长量为 $13.88\ \text{mm}$ 。头盔冲击受力测试结果显示,头盔的侧向冲击受力为 $1\ 646.5\ \text{N}$ ,顶部冲击受力为 $323\ \text{N}$ 。头盔侧向刚性测试结果显示,最大形变为 $1.2\ \text{mm}$ ,残余形变为 $0.1\ \text{mm}$ 。经头盔吸碰撞能性能测试发现,两次撞击平砧的峰值加速度分别为 $145.7\ \text{g}$ 和 $117.5\ \text{g}$ ,两次撞击路缘石砧的峰值加速度分别为 $50.0\ \text{g}$ 和 $50.3\ \text{g}$ ,头盔壳体未发生可能危及佩戴者的破裂。

## 2.3 护颚、护齿检测结果

护颚防护力测试结果显示,护颚正面、侧面的最大防护力分别为 $595\ \text{N}$ 和 $585\ \text{N}$ ,正面压缩变形和侧面压缩变形分别为 $58.44\ \text{mm}$ 和 $57.86\ \text{mm}$ 。护齿防护力测试结果显示,护齿的耐穿刺力为 $89\ \text{N}$ ,最大防护力为 $1\ 178\ \text{N}$ 。

## 3 分析与讨论

### 3.1 冻伤发生原理及机制

冻伤通常是指当皮肤表面温度低于 $-0.5\ ^{\circ}\text{C}$ 时,由于低温造成的、发生在皮肤组织周围的直接损伤(Keatinge et al., 1960)。冻伤常发生于暴露在寒冷环境的身体部位,低温会导致人体血管收缩、血液流动减少(McMahon et al., 2012)。为了保持核心体温,身体暴露在寒冷环境下的第一反应是收缩外部血管,使血液更集中,故常见的冻伤发生部位包括鼻子、耳朵、四肢、手指、脚趾等这些远离心脏和更容易受血管收缩影响的部位。因此,本研究选择了护脸、护臂、护膝这 3 种冻伤高发身体部位的防护装备进行研究。冻伤的严重程度与环境的寒冷程度、暴露时间、受伤身体组织的数量和深度成正比。

目前已知的冻伤机制为:最初随着皮肤冷却,低温带来细胞损伤以及局部缺血,导致疼痛、麻木和水肿。然后皮肤细胞内外形成冰晶,导致细胞脱水、电解质外流、细胞膜破裂,进而引发细胞结构的改变。当皮肤复温之后,细胞内外的冰晶融化,造成皮肤水肿和炎症的发生。同

时,由于复温使得血管从收缩快速转为扩张,血管的通透性和凝血性提高,这可能会导致更加严重的局部缺血和血栓(Castellani et al., 2006)。

导致冻伤发生的根本原因在于热损失,人体产生的热量低于人体损失的热量,无法维持热量平衡,这时就会有冻伤发生的风险。热量损失的 3 个关键影响因素为:温度、风力和潮湿程度(Fudge, 2016)。随着环境温度的降低,人体需要更多热量来维持热量的平衡,但低温并不是导致冻伤的唯一因素,风寒温度指数也与冻伤的发生密切相关(NOAA, 2013)。在相同的环境温度下,风力越强,风寒温度指数也就越高,人体热量损失越严重,发生冻伤的风险也就越高。潮湿程度也是导致冻伤发生的一个重要因素。与空气相比,运动员浸泡或暴露在水中时会产生更大的对流热传递,热量损失与身体浸泡或浸湿的表面积成正比(Castellani et al., 2006),也就是说,运动员所处环境的潮湿程度越高,或身体暴露在潮湿环境的范围越大,造成冻伤的几率也越高。因此,在预防冻伤时,不能仅从单一的温度因素角度进行预防,冻伤防护装备不仅要有良好的保温性能,也要具备一定的防风与防潮能力。

### 3.2 护脸、护臂、护膝的保护原理和效果

护脸、护臂和护膝检测指标包含热阻、导热系数、水蒸气透过率、远红外辐射升温 and 远红外发射率。

热阻是指当热量在物体上传输时,在物体两端温度差与热源的功率之间的比值。导热系数则指在稳定传热条件下,1 m 厚的材料,两侧表面的温差为 $1\ ^{\circ}\text{C}$ ,在一定时间内,通过 $1\ \text{m}^2$ 面积传递的热量。热阻及导热系数是衡量保温材料效果的常用指标,且二者成反比关系。在寒冷的环境中,防护装备通过自身的保温性能来减少人体与环境的热量交换,高热阻和低导热系数意味着防护装备可以将更多热量保存在防护装备内部,减少热损失,继而起到保温、防冻伤的效果。根据国家标准要求,凡环境平均温度在 $350\ ^{\circ}\text{C}$ 以下时,导热系数不大于 $0.12\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 的材料即为保温材料,具有一定的保温效果。在本研究中,护脸、护臂和护膝在平均温度 $-30\ ^{\circ}\text{C}$ 时,导热系数分别为 $0.075\ 632$ 、 $0.070\ 625$ 和 $0.065\ 843\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,均低于 $0.12\ \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 的国家标准,因此被试防护装备均具有良好的保温性,对于冻伤的出现具有一定防护效果。热阻及导热系数会随外部环境温度、风力等因素发生变化,因此本研究分别进行了不同温度下的两次实验,实验结果证明,3种防护装备的热阻随着温度的降低而升高,导热系数随着温度的升高而降低,这表明3种防护装备可以在外界温度降低的情况下维持保温性能。

水蒸气透过率包含了水蒸气透过量这一含义,水蒸气透过量指在规定的温度、相对湿度、一定的水蒸气压差和一定厚度的条件下,1 m<sup>2</sup>的试样在 24 h 内透过的水蒸气量。水蒸气透过率则是通过系数换算的水蒸气透过量

的标准值,并对应标准单位,用于不同测试结果之间的比较,水蒸气透过率高表明试样对液体、水蒸气等渗透物的阻碍性低。水蒸气透过率通常对应人们所说的透气性,如果防护装备保温性好但透气性差,以汗液为主的体液会在衣物内发生堆积,进而浸湿衣物和防护装备,潮湿度增加会降低防护装备的保温性,同时增加人体的热量流失,加之皮肤暴露在潮湿的环境中,冻伤发生的风险也随之上升。目前,我国对于运动防护装备的透气性还没有详细的要求标准。本研究结果显示,护脸的透气性明显低于护臂和护膝。这与3种防护装备的用途和材料有密切关系。护脸会遮挡运动员的口鼻,为保证运动员呼吸畅通,通常会采用轻薄材料和轻便的结构设计,因此,护脸自身吸收渗透物的能力有限。而护臂和护膝相比护脸厚重一些,采用的材料对渗透物的吸收能力更强,水蒸气的透过率相对较高,可以保证手臂与膝盖处于一个相对干燥的环境,降低冻伤发生的概率。

人在穿着含远红外添加剂纤维构成的服装或装备时,远红外纤维可以吸收外界环境和人体释放的辐射热,并发射远红外线,这些远红外线会与人体表面细胞分子发生共振,产生热效应,使得热量被人体皮肤吸收(霍子龙等,2021),从而起到预防冻伤的作用。远红外发射率和远红外辐射温升是评价纺织品远红外性能的重要指标。根据国家标准要求,服装试样的远红外发射率不低于0.88,且远红外辐射温升不低于1.4℃时,样品具有远红外功能。本研究结果表明,护脸、护臂、护膝的远红外发射率分别为0.89、0.91和0.89,远红外辐射温升分别为1.8℃、2.0℃和2.4℃,均满足标准,说明3种防护装备具有远红外性能,可以通过吸收运动员散发的热量来提供热量,对冻伤具有一定预防作用。

### 3.3 颌面创伤发生特点及原因

颌面部是冰雪运动中比较容易发生运动损伤的身体部位,颌面创伤发生率较高的项目多以空中技术、高速和发生较多冲撞为特征。通过对备战北京2022年冬奥会的运动员进行调查发现,在整个颌面部的范围内,面部皮肤是最容易受伤的部位,最常见的颌面创伤为擦伤/挫伤/血肿,脑震荡则是发病率第二的伤病类型,脑内部出现的损伤大概率为严重损伤,甚至会危及运动员的生命。调查还显示,多数颌面创伤发病时为急性损伤,训练伤病率高于比赛伤病率,尽管多数颌面创伤属于轻度损伤,但仍有1/3左右为严重损伤,这会导致运动员长时间缺席训练或者比赛,影响竞技水平(王耀东等,2020)。

颌面创伤的发生原因分为外部原因和内部原因,就外部原因而言,与静态物体发生接触或碰撞为首要原因,内部原因则是以技术动作错误为主(王耀东等,2020; Weinstein et al., 2019),这些也强调了佩戴防护装备及防护装备防护效果的重要性。

### 3.4 头盔的保护原理及效果

相较于冻伤防护装备,头盔等颌面创伤防护装备的原理比较简单,即通过防护装备提供额外的支撑力来对抗或减缓由于摔倒及碰撞带来的外部冲击力。已有研究证明,头盔可以有效降低颌面创伤发生的风险,并且降低颌面创伤的严重程度(Russell et al., 2010),因此头盔可以说是最主要也是最重要的颌面创伤防护装备。

测试佩戴稳定性及佩戴系统动态强度的主要目的是确定当运动员发生碰撞或摔倒时,头盔是否会脱落。结果表明,样品头盔的佩戴稳定性达标,无论是受前掀力还是震动影响,头盔的系带都没有发生断裂,头盔也没有发生脱落现象。

冲击受力是指两个刚性物体在发生碰撞时突然增大然后迅速消失的力,它的特点是作用时间极短但量值极大。目前,国内关于运动头盔的标准要求中并没有对抗冲击力有明确的要求,但是由于不同冰雪项目场地环境复杂多样,有各种潜在风险,冲击力量值又极大,因此本研究将冲击受力也纳入评价指标。试样头盔顶部和侧向的冲击受力分别为323.0 N和1 646.5 N,属于抗冲击受力较强的运动头盔。当冲击受力超过一定数值时,人体头颈部将无法承受相应的冲击力,因此根据相关要求,为保证佩戴者的生命安全,工业安全帽冲击受力的最大值不得超过4.9 kN(李启月等,2021),即4.9 kN是极限数值,超过4.9 kN时便会危及佩戴者的生命健康,该数值对于冰雪运动头盔具有一定的参考意义。在比赛或训练过程中运动员遭受重物冲击的可能性相对较低,多数情况下承受的冲击来自运动员自身或其他运动员,因此试样头盔在冲击受力方面可以为运动员提供良好的保护。

运动员在比赛过程中发生摔倒或碰撞绝大多数属于突发情况,一旦倒地可能伴随被周围闪避不及的运动员踩踏的风险,因此头盔的侧向刚性是保护倒地运动员头部的重要因素之一。在头盔刚性实验过程中,加压至430 N并持续30 s以上时,头盔发生了形变,最大形变为1.2 mm;将压力完全卸载后,残余形变仅为0.1 mm,这表明负荷在430 N以内时,头盔对运动员具有良好的保护效果。同样,目前国家对于运动头盔的标准中并没有关于刚性的要求,参考摩托车乘员盔标准中对A类盔的标准最大形变不得超过40 mm(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2010),试样头盔的刚性强度相对较好,并且还有承受更大负荷的可能。

头盔对碰撞能的吸收性能是头盔保护能力中最重要的一个指标。在碰撞发生后,头盔的外壳以及内部的阻尼材料会对碰撞能进行减缓与吸收,减少运动员头部受到的冲击,而衡量吸收能力的指标为头部受到的冲击加速度最大值,即峰值加速度。试验中选择平砧和路缘石砧的目的是模拟平坦和凸起的碰撞面,以测试不同碰撞

面对峰值加速度的影响。按照相关国家标准要求,平砧试验的冲击速度为 6.2 m/s,路缘石砧试验的冲击速度为 4.8 m/s,碰撞发生后计算峰值加速度,结果不得大于 300 g。有研究表明,当冲击加速度的峰值为 200 g 且作用时间小于 2 ms,或冲击加速度的峰值为 150 g 且作用时间小于 4 ms 时,人体头骨可以避免脑震荡的发生(卢骋等,2020)。也有研究表明,当人体佩戴头盔且受到的冲击加速度低于 300 g 时,可以避免颅骨骨折的发生(DiGiacomo et al., 2021)。还有研究显示,在国外的头盔测试标准(EN1077)下,以 5.2 m/s 的速度进行平砧冲击试验,人体受到的冲击加速度低于 250 g 即为合格(Stuart et al., 2020)。本研究表明,试验头盔无论是在平砧还是路缘石砧的测试中,峰值加速度均没有超过 150 g,符合国家标准,试样头盔可以保护运动员避免受到脑震荡或颅骨骨折等伤病的危害。

### 3.5 护颚、护齿的保护原理及效果

与头盔类似,护颚与护齿以提供物理方面的保护功能为主。护颚是一种颌面部护具,通过提供物理支撑、缓解冲击力等方式来避免下颌部受到损伤。前期研究显示,下颌部是整个颌面部最容易受伤的骨组织(王耀东等, 2020)。传统的头盔在设计上忽略了对下颌部的保护,使得下颌部暴露在外,并且由于下颌部需要配合面部肌肉进行咬合及其他动作,相对较为灵活,同时也比较脆弱,在发生碰撞后很容易发生骨折、错位等创伤。而试样头盔则配上了相应的护颚,加强了对下颌部的保护。目前,国内外尚未对该类防护装备出台明确的检测标准。本研究中 595 N 的正面防护力和 585 N 的侧面防护力已经超过了头盔的顶部受力,说明护颚具有良好的防护能力。同时,由于护颚选择了伸出式的设计,正常状态下护颚和人体下颌部存在一定的安全距离,该安全距离远大于 58.44 mm 和 57.86 mm 2 个形变程度,可以避免防护装备受到冲撞时对运动员造成额外的伤害。

护齿不仅可以保护牙齿及牙槽骨,还从一定程度上保护了舌头等口腔软组织,因此,很多国内外单项运动协会及体育组织在项目规则或比赛要求中强迫运动员佩戴护齿(Black et al., 2017),由此可见护齿对于颌面创伤防护的重要性。本研究发现,试样护齿厚度为 4.45 mm,可承受的最大穿刺力为 89 N、最大防护力为 1 190 N。单从数据来看,试样护齿可以为牙齿提供很好的保护作用,由于在试验过程中并没有对嘴唇或其他软组织进行模拟,因此护齿在实际使用过程中发挥怎样的效果还有待证明和检验。

### 3.6 建议

1) 国家应加快推进冰雪运动相关防护装备检测标准的建立健全。近年来,冰雪运动在国内发展速度极快,参与人数众多,但是目前国家并没有针对冰雪运动项目防护装备制定专门的检测标准。本试验中采用的国家标准

均为参考性质,这导致研究无法给出有效的评判,对于防护装备的实用性和防护性的研究只能依赖于实际案例。

以头盔为例,头盔是日常生活中比较常见的护具,摩托车或其他运动项目头盔需要应对的是来自坚硬路面或物品的冲击,进行模拟实验或评价时也多采用规则的几何形状钢砧和石砧,而冰雪运动头盔应该考虑应对雪和冰这种低温且相对柔软的碰撞面,即使是不同硬度的雪在头部和颈部发生碰撞时也会导致不同的力学影响,因此不能笼统利用金属平板来模拟碰撞,更不能使用同样的标准来衡量两种头盔。此外,目前国内外头盔的安全标准只测试线性冲击场景,进行模拟试验时往往使用垂直施加碰撞负荷的方式测试峰值加速度,但是在真实的头部撞击情境中,直向头部重心的撞击是罕见的,多数冲击的方向是不规则的,不同的冲击角度、冲击发生时头盔与头部之间的状态等因素都会对冲击加速度带来影响。发生在斜坡上的碰撞会导致撞击位置偏离头部重心,不同的坡面角度还会产生相应的旋转加速度,增加了运动员发生颌面创伤的风险与几率。因此,制定头盔安全标准时还应将旋转加速度和角速度等指标纳入考核(Steenstrup et al., 2018; Stuart et al., 2020)。

借助举办北京 2022 年冬奥会的契机和“带动三亿人参与冰雪运动”的号召,冰雪运动在我国的普及程度越来越高。即使在冬奥会结束后,冰雪运动及相关产业也会成为宝贵的奥运遗产,不仅是体育产业发展的重点,更可以促进全民健身政策的实施。加快建立健全冰雪运动防护装备检测评价标准,既可以为参与重大赛事的运动员保驾护航,减少颌面创伤以及各种运动创伤的发生率,还可以为广大人民群众安全参与冰雪运动提供保障。冰雪运动有其自身的特殊性,应针对冰雪运动项目的特点,结合实际情况,通过热力学、生物力学等多种指标,结合实验与运动员的实际案例,建立健全科学化、国际化的冰雪运动相关防护装备检测标准。

2) 运动员应结合自身情况制定综合损伤预防策略。冻伤和颌面损伤并不是由于单一因素引起的运动创伤,运动环境的天气情况、运动员自身的技术水平和身体素质、伤病史、生理及心理状态以及运动员是否合理使用防护装备等等,都会影响冻伤与颌面创伤。冻伤与颌面创伤的预防是一项复杂且困难的工作,使用了防护装备不代表一定可以规避损伤带来的风险,而是可以降低损伤的发生率或者严重程度。防护装备的使用只是预防冻伤及颌面创伤的主要手段之一,完备的冻伤与颌面创伤预防策略还包括对运动员进行全面性损伤监控,结合实际情况对冻伤及颌面创伤的发生机制进行深入研究,强化运动员的运动技能和身体素质;强化运动员、教练员、队医等相关人员的伤病预防教育,提高防伤意识和风险意识,及时对运动员进行心理疏导,排解压力,合理安排膳

食与休息时间;正确合理使用防护装备,建立健全标准的防护装备评价体系,加强对新型装备的研发与设计,充分发挥防护装备的价值。

3)冰雪运动防护装备并非仅适用于运动员,普通的冰雪运动爱好者和初学者更应注重防护装备的使用。冰雪运动初学者在学习冰雪运动的过程中,发生碰撞和摔倒在所难免,因此,正确选择并合理佩戴防护装备是减少初学者运动损伤最简单、最直接有效的预防手段。而冰雪运动爱好者在掌握一定的运动技能后,容易出现风险意识降低、盲目追求高风险技术动作等行为,这些行为会导致运动损伤风险的增加。同时,爱好者运动技能水平有限,不足以妥善处理运动过程中的各类突发情况,在紧张、慌乱时容易技术动作变形,提高运动损伤发生的几率,所以冰雪运动爱好者也应该通过佩戴相关护具来重点预防运动损伤。

#### 4 结论

本研究通过对部分冻伤、颌面创伤防护装备进行试验检测,分析各类防护装备的保护原理,发现研究中护具均符合国家标准且具有良好的保护效果。结合试验结果与冰雪运动项目特点提出国家应加快推进冰雪运动相关防护装备检测标准制定的建议,同时建议冰雪运动运动员和参与者结合实际情况,综合、全面制定损伤预防策略,有效避免冻伤与颌面创伤。

#### 参考文献:

霍子龙,许多,吴圆凤,等,2021.远红外功能纤维的研究现状及展望[J].染整技术,43(7):15-18,33.

李启月,王靖博,王宏伟,等,2021.工业安全帽抗冲击性能研究[J].中国安全生产科学技术,17(3):182-186.

刘美含,吴雪萍,丁海勇,等,2021.冬残奥运动项目损伤特征、风险因素及预防措施[J].武汉体育学院学报,55(2):93-100.

卢骋,沈振,周慧忠,2020.电动自行车乘员头盔质量安全风险研究[J].质量与标准化,(11):41-44.

王耀东,王侯杰,2020.北京2022年冬奥会冰雪运动颌面创伤特征及预防策略的调查研究[J].中国体育科技,56(12):65-71.

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会,2008.GB/T 10295—2008绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法[S].北京:中国标准出版社.

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会,2009.GB 24429—2009运动头盔 自行车、滑板、轮滑运动头盔的安全要求和试验方法[S].北京:中国标准出版社.

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理

委员会,2010.GB 811—2010摩托车乘员头盔[S].北京:中国标准出版社.

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会,2013.GB/T 30127—2013纺织品 远红外性能的检测和评价[S].北京:中国标准出版社.

BLACK A M, PATTON D A, ELIASON P H, et al., 2017. Prevention of sport-related facial injuries [J]. Clin Sports Med, 36(2):257-278.

CAGLAR E, KARGUL B, TANBOGA I, 2005. Dental trauma and mouthguard usage among ice hockey players in Turkey premier league[J]. Dent Traumatol, 21(1):29-31.

CASTELLANI J W, YOUNG A J, DUCHARME M B, et al., 2006. American College of Sports Medicine, American College of Sports Medicine position stand: Prevention of cold injuries during exercise[J]. Med Sci Sports Exerc, 38(11):2012-2029.

DIGIACOMO G, TSAI S, BOTTLANG M, 2021. Impact performance comparison of advanced snow sport helmets with dedicated rotation-damping systems [J]. Ann Bio Eng, 49(10): 2805-2813.

FINCH C, 2006. A new framework for research leading to sports injury prevention[J]. J Sci Med Sport, 9(1-2):3-9.

FUDGE J, 2016. Exercise in the cold: Preventing and managing hypothermia and frostbite injury[J]. Sports Health, 8(2):133-139.

KEATINGE W R, CANNON P, 1960. Freezing-point of human skin [J]. Lancet, 275(7114):11-14.

MCMAHON J A, HOWE A, 2012. Cold weather issues in sideline and event management[J]. Curr Sports Med Rep, 11(3):135-141.

NOAA, 2013. National Weather Service. Office of Climate, Water and Weather Services[EB/OL]. <http://www.nws.noaa.gov/om/winter/windchill.html>.

RUSSELL K, CHRISTIE J, HAGEL B E, 2010. The effect of helmets on the risk of head and neck injuries among skiers and snowboarders: A meta-analysis[J]. CMAJ, 182(4):333-340.

SOLIGARD T, PALMER D, STEFFEN K, et al., 2019. Sports injury and illness incidence in the PyeongChang 2018 Olympic Winter Games: A prospective study of 2914 athletes from 92 countries[J]. Br J Sports Med, 53(17):1085-1092.

STEENSTRUP S E, MOK K M, MCINTOSH A S, et al., 2018. Head impact velocities in FIS World Cup snowboarders and freestyle skiers: Do real-life impacts exceed helmet testing standards? [J]. Br J Sports Med, 52(1):32-40.

STUART C A, BRUBACHER J R, YAU L, et al., 2020. Skiing and snowboarding head injury: A retrospective centre-based study and implications for helmet test standards[J]. Clin Bio, 73:122-129.

WEINSTEIN S, KHODAEI M, VANBAAK K, 2019. Common skiing and snowboarding injuries[J]. Curr Sports Med Rep, 18(11): 394-400.

(收稿日期:2021-10-26; 修订日期:2022-04-06; 编辑:马婧)

