

文章编号: 1004-7220(2022)02-0268-06

半蹲式跳伞胫腓骨及踝关节骨折损伤分型 及骨折区段分析

罗陈宇¹, 田山¹, 江天云¹, 柳松杨², 张浩², 张家康², 王丽珍¹, 樊瑜波^{1,3}

(1.北京航空航天大学生物力学与力生物学教育部重点实验室,北京市生物医学工程高精尖创新中心,生物与医学工程学院,北京 100083; 2.空军特色医学中心,北京 100142; 3.北京航空航天大学医学科学与工程学院,北京 100083)

摘要:目的 对跳伞着陆中胫腓骨和踝关节骨折病例进行分型及损伤区段测量分析,探究伞伤骨折的主要类型和易发区段。**方法** 收集并筛选得到 56 例跳伞着陆骨折损伤病例,基于数字化 X 线片图像对胫腓骨和踝关节骨折分别使用 AO-OTA 标准和 Lauge-Hansen 标准进行分型,将与踝关节胫骨和距骨关节面的距离相等的平面定义为零平面,标定胫腓骨损伤最高和最低点以确定骨折区段并进行统计分析。**结果** 在胫腓骨和踝关节伞伤骨折中,胫腓骨一并骨折占 80.4%。胫腓骨骨折以 42-D/5.2(45.8%)、42-D/5.1(16.7%)为主要分型;踝关节骨折以旋前外旋型(59.4%)、旋后外旋型(37.5%)为主要分型。在胫腓骨及踝关节伞伤骨折时,胫骨骨干在零平面向上 57~143 mm、零平面以下 6 mm 至以上 24 mm 区段、腓骨在零平面上 4~45 mm、74~83 mm 区段内均有超过 50% 概率存在骨折损伤。**结论** 在跳伞下肢损伤防护中,胫腓骨骨干均骨折的情况应被重点防护,旋前外旋和旋后外旋这两类踝关节骨折的扭转机制应该予以重点防护。

关键词: 跳伞着陆; 胫腓骨; 踝关节骨折; 骨折分型

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2022.02.012

Fracture Classification and Injury Segment Analysis of Tibiofibula and Ankle in Half-Squat Parachuting Landing

LUO Chenyu¹, TIAN Shan¹, JIANG Tianyun¹, LIU Songyang², ZHANG Hao², ZHANG Jiakang², WANG Lizhen¹, FAN Yubo^{1,3}

(1. Key Laboratory for Biomechanics and Mechanobiology of Ministry of Education, Beijing Advanced Innovation Center for Biomedical Engineering, School of Biological Science and Medical Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China; 2. Air Force Medical Center of PLA, Beijing 100142, China; 3. School of Medical Sciences and Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract: Objective To make classification and segment measurement for the cases with tibiofibular and ankle fractures in parachuting landing, and investigate main classification types of parachuting fractures and fracture segments of high risk. **Methods** A total of 56 fracture cases in parachuting landing were collected, and the tibiofibula and ankle fractures were classified according to AO-OTA or Lauge-Hansen classification standards respectively based on their digital X-ray images. The medium plane between talus and tibia joint planes in ankle joint was defined as the reference plane. The highest and lowest injury points of tibia and fibula were marked respectively, and the fracture segment was defined between the highest and lowest point for statistical analysis. **Results** For tibiofibular and ankle fracture cases in parachuting landing, fracture at both tibia and fibula

收稿日期: 2021-03-25; 修回日期: 2021-06-09

基金项目: 国家自然科学基金优秀青年基金项目(11822201), 高等学校学科创新引智计划(B13003)

通信作者: 樊瑜波, 教授, E-mail: yubofan@buaa.edu.cn

accounted for 80.4%. The major classification of tibiofibula fracture was 42-D/5.2 (45.8%) and 42-D/5.1 (16.7%). The major classification for ankle fracture was pronation-external rotation (PER, 59.4%) and supination-external rotation (SER, 37.5%). When tibiofibular and ankle fracture cases in parachuting landing occurred, the fracture segment of the tibia was mainly from 57 to 143 mm above the reference plane and from 6 mm below the reference plane to 24 mm above the reference plane, while the fracture segment of the fibula was 4-45 mm and 74-83 mm above the reference plane. Injury risks of all above segments were higher than 50%.

Conclusions For protection of lower limbs in parachuting landing, the fracture at both tibia and fibula should be highly noticed. The ankle motion of PER and SER should be especially restricted in parachuting ankle protection.

Key words: parachuting landing; tibiofibula; ankle fracture; fracture classification

跳伞运动在当代的民用和军事领域中应用广泛,并占有重要地位^[1-2]。然而,跳伞运动在诸多方面存在很高的损伤风险。一项针对美军部队的流行病学调查研究发现,美军空降兵每1 000次跳伞的损伤概率约为6人次,全军种中参与跳伞士兵的受伤概率是不参与跳伞士兵的20倍^[3-4]。在民用领域,一项对6 810名运动员进行多种运动学损伤的总体流行病学调查发现,跳伞的运动损伤患病率为72.38%,在总计50个运动项目中排名第10位^[5]。

跳伞损伤多发生于冲击力较大的着陆过程中,有超过85%跳伞伤来源于着陆过程^[6]。国内通常采用半蹲式跳伞着陆动作,即双膝和双足并拢,膝关节弯曲呈半蹲姿势,着陆时足底平面与地面平行^[7]。由于人体下肢部分在跳伞着陆过程中最直接受到冲击,且以较大的关节转动及关节力来抵抗冲击,吸收冲击能量,故下肢损伤为着陆损伤中占比最高^[8-9]。Ekeland^[10]对4 449例跳伞伤病例进行统计,发现下肢跳伞伤占有跳伞伤80%。更进一步而言,在跳伞着陆的下肢损伤中,胫腓骨骨折损伤和踝关节骨折损伤是最为普遍的两类。以往统计发现,胫腓骨损伤和踝关节损伤分别占跳伞着陆中下肢损伤46%、24%^[11-12]。而在胫腓骨和踝关节损伤中,以骨折为形式的损伤占比很大^[13]。

综上所述,多个流行病学研究已证实了胫腓骨和踝关节损伤,尤其这两个部位的骨折损伤是跳伞伤的最普遍形式。然而,目前的流行病学研究多为对损伤大致部位进行的统计,尚且缺少对骨折发生区段的量化分析,尤其是针对最易损伤区段和导致损伤运动形式的分析。本文收集56例国内伞兵部队胫腓骨和踝关节骨折的跳伞着陆伤病例样本,基于数字化X线片图像文件进行骨折损伤分型分析,并使用描点坐标法在图像中测量骨折损伤区段,对跳伞

着陆过程的胫腓骨损伤位置、导致踝关节损伤的运动形式进行分析和讨论,为跳伞损伤防护提供参考。

1 方法

所用病例来源于我国空降兵某部队驻地附属医院2006~2014年收录病例。筛选病例的标准为:①该部队跳伞着陆伤且损伤位置为胫腓骨或踝关节骨折;②X线片图像文件;③筛除遮挡、模糊,以及所有无法明确损伤详细情况的病历;④筛除踝关节面过度挤压、变形,难以定量测量的病历;⑤保留正位片和可以定量测量的侧位片的病例。最终共入选56例病例,包含24例胫腓骨损伤病例和32例踝关节损伤病例,患者受伤实际年龄为17~37岁,均为男性。所收集的医学影像均为DICOM格式X线片数字图像文件^[14]。使用Mimics 21.0 (Materialise公司,比利时)进行图像处理和测量。本研究由北京航空航天大学生物与医学伦理委员会审批,受试者均在实验前签署知情同意书。

采用2018年新版AO-OTA和Lauge-Hansen两种分型方法分别对胫腓骨骨折和踝关节骨折进行分型及分析,以及对胫腓骨骨折病例的损伤区段进行测量和统计。本研究中,X线片均为胫腓骨以及距骨中上端。为统一测量标准,建立一维参考坐标系和零平面如图1所示。

①沿踝关节关节面,连接关节内距骨上端内外两侧最高两点A、B(距骨上端面结构为两端高,中间低)作线段 $L(A)$ 。②过关节内胫骨下端最低点 B_1 作与该点相切且平行于 $L(A)$ 的线段 $L(B)$ 。③取线段 $L(A)$ 、 $L(B)$ 之间距离的中点C,过该点作平行于 $L(A)$ 的直线 $L(C)$, $L(C)$ 与胫骨外侧和腓骨内侧分别相交于点D、E。 $L(C)$ 所在垂直于矢状面的平面即为零平面。④取点D和E的中点为一

维参考坐标系的原点,纵向向上为坐标轴正方向。



图1 胫腓骨及踝关节骨折X线片标记及测量方法

Fig.1 Markers and measurement on digital radiograph of tibiofibular fracture

标注骨折线的最低点和最高点,即骨折线与骨的最低交点和最高交点(见图1中的4个绿色标注点),作为损伤区段的最低点和最高点。分别将胫骨和腓骨各自骨折线最高点和最低点之间定义为骨折损伤区段,两点纵坐标差值作为骨折区段总长度,最高点和最低点在参考坐标系下纵坐标的平均值作为胫骨和腓骨的骨折损伤区段中点的坐标值。

为了解胫骨和腓骨最易发生骨折损伤的部位,

分别统计胫腓骨和踝关节骨折发生时各坐标点发生骨折损伤的概率,即该点发生骨折损伤的病例数与胫腓骨骨折和踝关节骨折总病例数的比值。

2 结果

56例病例包含24例胫腓骨骨折和32例踝关节骨折,分型结果如图2所示。24例胫腓骨骨折采用AO-OTA分型:主要分型有11例42-D/5.2型,4例42-D/5.1型,两者均为胫腓骨双骨干骨折;其余9个病例分型结果较为分散,除4F2A(仅腓骨骨干骨折)有2例外,4F2B和44A-23均只有1例。24例中共有16例胫腓骨双骨干骨折、4例仅腓骨骨干骨折(4F2A、4F2B、44-A23分别为2、1、1例)、4例仅胫骨骨干骨折(42-A1、42-B2、42-B3、43-B11各1例)。32例踝关节骨折采用Lauge-Hansen分型,主要分型有14例PER-IV分型(旋前外旋型4级损伤)、8例SER-IV分型(旋后外旋型4级损伤),两者均为4级的严重损伤。32例中有29例胫腓骨均骨折,3例仅胫骨骨折。32例中有19例PER(旋前外旋型)、12例SER(旋后外旋型)、1例PA(旋前外展型)。PER分类和SER分类各等级损伤的病例总和31例,占比96.9%。

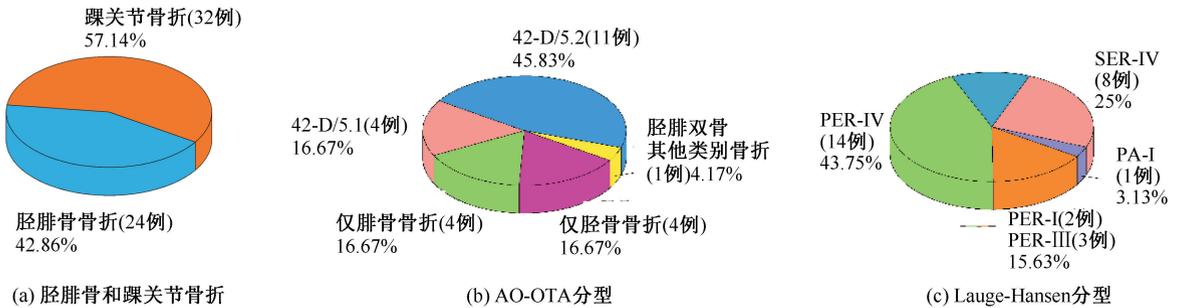


图2 胫腓骨及踝关节骨折病例统计与AO-OTA和Lauge-Hansen分型统计

Fig.2 Statistics of tibiofibula and ankle fracture and AO-OTA/Lauge-Hansen classification

(a) Tibiofibula and ankle fracture, (b) AO-OTA classification, (c) Lauge-Hansen classification

针对16例胫腓骨均骨折的病例,分别对胫骨和腓骨损伤区段中点的坐标位置和骨折区段总长度进行统计。结果表明,在16例病例中,胫骨骨折区段中点坐标(100.5±22.5)mm,骨折区段总长度(86.7±33.0)mm;而腓骨骨折区段中点位置坐标(152.8±108.9)mm,骨折区段总长度(40.9±19.6)mm。

本文分别对胫腓骨骨折病例以及踝关节骨折

病例中胫骨、腓骨骨折损伤区段进行叠加统计,以一维热图的方式直观体现损伤区段发生在胫骨和腓骨各个区段的概率。胫腓骨骨折区段在胫骨和腓骨的分布情况如图3所示,数据统计共包含16例胫腓骨双侧骨折、4例仅胫骨骨折和4例仅腓骨骨折。在单伤胫腓骨骨折发生时,骨折位置在胫骨的分布较为集中,而在腓骨的分布较为分散。在胫骨骨干距离原点以上57~143mm区段,都有超过

50% 概率发生骨折损伤;更进一步,在胫骨骨干原点上 77~115 mm 区段,有超过 80% 概率发生骨折损伤。与之对应,在腓骨骨干的整个区间都不存在发生骨折损伤概率超过 50% 的区域。

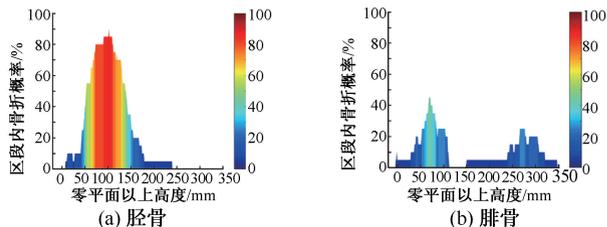


图3 胫腓骨骨折区段分布情况

Fig.3 Distributions of tibiofibula fracture segment

(a) Tibia, (b) Fibula

踝关节旋前外旋型 3、4 度严重骨折损伤类型中,骨折损伤区段在胫骨和腓骨的分布情况如图 4(a)所示。旋前外旋型 3、4 度骨折病例共计 17 例,均为胫骨、腓骨双骨折。其中,骨折位置在胫骨的分布相对较为集中,且相对靠近零平面位置,而在腓骨的分布相对较为分散,且相对处于原点上 75 mm 左右的位置。旋前外旋型 3、4 度骨折病例中,在胫骨原点以下 6 mm 至原点上 24 mm 区段,都有超过 50% 概率发生骨折损伤;而在腓骨则仅有原点上 74~83 mm 区段,有超过 50% 概率发生骨折损伤。

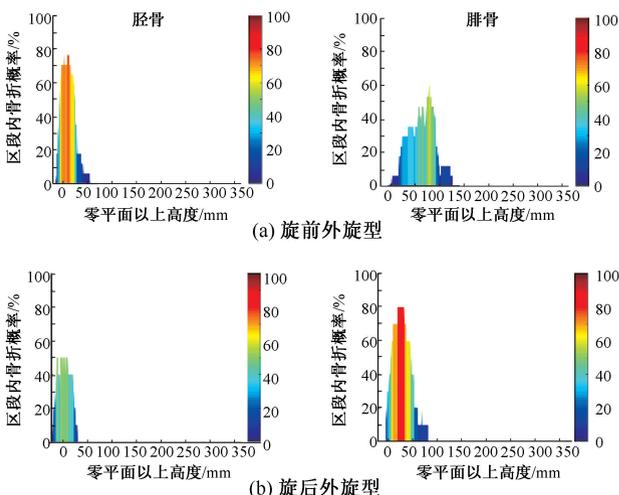


图4 不同踝关节骨折区段分布情况

Fig.4 Distributions of different ankle fracture segments

(a) Pronation-external rotation, (b) Supination-external rotation

踝关节旋后外旋型 3、4 度严重骨折损伤类型中,骨折损伤区段在胫骨和腓骨的分布情况如图 4(b)所示。旋后外旋型 3、4 度骨折病例共计 10 例,均为胫骨、腓骨双骨折。其中,骨折位置在胫骨的分布相对较为分散,而在腓骨的分布相对较为集中,且腓骨损伤区段相对于旋前外旋型骨折而言普遍更靠近零平面。旋后外旋型 3、4 度骨折病例中,在胫骨不存在超过 50% 概率发生骨折损伤;而在腓骨在原点上 4~45 mm 区段,有超过 50% 概率发生骨折损伤。

3 讨论

胫腓骨和踝关节骨折损伤在跳伞着陆损伤中占比很大。着陆过程的高冲击力、降落过程中的横向风速影响、落地地面不平、跳伞员负重等多种原因都与胫腓骨和踝关节损伤有密切的关系^[15-16]。本文收集了我国空降兵跳伞着陆过程受伤病例,筛选出符合要求的胫腓骨和踝关节骨折病例共 56 例,包含 24 例胫腓骨骨折病例和 32 例踝关节骨折病例。结合骨折损伤分型和针对 X 线片骨折损伤部位的测量分析,总结得出不同下肢损伤类型的骨折区段特征尺寸,为我国伞兵着陆过程防护设计提供临床统计和生物力学参考。

胫腓骨骨折病例中,胫腓骨骨干均骨折占 68%;在踝关节骨折病例中,胫腓骨均骨折占 90.6%。由此可见,在伞伤的下肢骨折损伤中,胫腓骨均骨折是一种主要的损伤方式,而胫骨或腓骨单独骨折的病例所占比例相对较低。胫骨与腓骨的协同防护是预防伞伤的重点。

在胫腓骨骨折的 AO 分型中,24 例病例有 23 例属于分型中的 42 型,即胫腓骨的骨干骨折。胫腓骨骨折的 AO 分型共包含 3 种分型 41、42、43。其中,41 型在临床中被归为膝关节损伤,本文未收集此类病例。而在 42 型和 43 型两种胫腓骨损伤中,伞伤以 42 型骨折,即胫腓骨骨干的骨折为主,且多数为呈现楔形或复杂骨折线、相对严重的 D/5.2 分型。43 型骨折即胫骨远端非扭转导致的骨折,在本文收集的病例中并无此类骨折。由此可见,伞伤导致的胫骨远端骨折情况仅会发生于因踝关节扭转导致的骨折。

对胫腓骨骨干骨折区段进行中点位置及区段

长度的测量结果显示,胫骨骨干骨折区域较为集中,腓骨骨干骨折区域较为分散。鉴于胫腓骨同时发生骨折的几率较大,针对骨折位置相对集中的胫骨进行防护是可取的防护手段。骨折损伤区域热图分析结果显示,在胫骨骨干原点以上 57~143 mm 区段,都有超过 50% 概率发生骨折损伤。而在腓骨骨干中,并不存在超过 50% 概率发生骨折损伤区段。同时,对胫腓骨骨折区段中点位置和区段长度的统计显示,胫腓骨同时骨折的病例中,胫骨骨折区段中点的平均位置位于原点以上 (100.5 ± 22.5) mm 处,骨折区段长度为 (86.7 ± 33.0) mm,平均骨折区段发生于原点以上 57.1~143.8 mm,与热图显示结果一致。因此,本文认为,对胫骨骨干骨折的保护是伞伤防护的重点,而重点保护区段为原点以上 57~143 mm 区段。

踝关节骨折病例中,占比最大的两种分型为 PER-IV 型和 SER-IV 型,分别有 14 例和 8 例,在踝关节骨折病例中分别占比 43.8% 和 25%。这两种分型均为 Lauge-Hansen 分型方法中的 4 度损伤,其中 PER-IV 为旋前外旋型骨折,4 度损伤表示下胫腓后韧带撕裂或后踝骨折;SER-IV 为旋后外旋型骨折,4 度损伤表示内踝骨折或三角韧带断裂。从 X 线片数字图像上来看,旋后外旋型和旋前外旋型 4 度损伤胫骨末端后侧均可能出现骨折线(可见于侧视图,后踝骨折)或距骨和胫骨间隙明显增大、角度有所扩张(可见于正视图),是损伤程度最高的等级(见图 5)。踝关节骨折病例中 Lauge-Hansen 分型的 4 度损伤占比 68.8%。由此可见,踝关节骨折病例多数损伤严重,胫腓骨均骨折的占比很高,且高于胫腓骨骨干骨折病例中胫腓骨均骨折的占比。旋后外旋型和旋前外旋型损伤在踝关节骨折病例中共占比 96.9%,故踝关节旋后外旋和旋前外旋的两种活动度在跳伞着陆损伤防护设计中需要特别关注。另外两种踝关节骨折的活动度包括旋前外展和旋后内收型,在跳伞着陆损伤防护设计中则不需要过多考虑。在之前研究收集的 86 例跳伞着陆伤踝关节骨折中,旋后外旋型共有 41 例,占比 47.7%;旋前外旋型共有 29 例,占比 33.7%^[17]。尽管该结果与本研究结果有一定差异,但是均说明旋后外旋型和旋前外旋型损伤均为造成踝关节骨折的最主要损伤类型,在损伤防护层面值得重点关注。

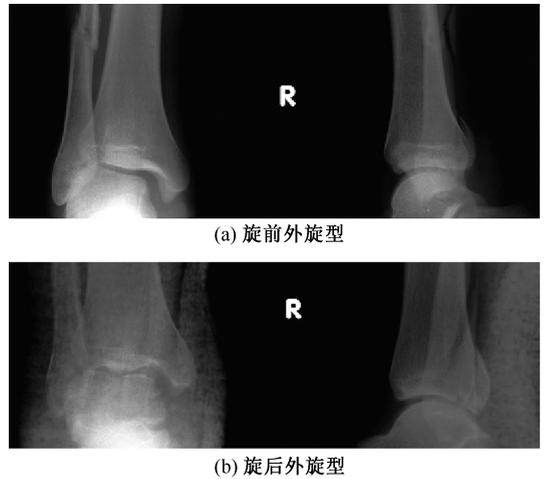


图 5 踝部骨折 X 线片示例

Fig.5 Radiograph instance of ankle fracture

(a) Pronation-external rotation, (b) Supination-external rotation

通过尸体实验探究发现,三角韧带对于踝关节稳定性具有重要作用^[18]。根据 Lauge-Hansen 分型可知,旋前外旋型和旋后外旋型骨折均可能对三角韧带直接造成损伤。因此,对旋前外旋型和旋后外旋型骨折进行防护,可有效保护三角韧带,提高踝关节稳定性。

旋前外旋导致骨折位置在胫骨相对集中、在腓骨相对分散;而旋后外旋相反,其导致骨折位置在胫骨相对分散、在腓骨相对集中。为降低踝关节旋前外旋型骨折的风险,重点应对胫骨原点以下 6 mm 至以上 24 mm 区段,以及腓骨原点以上 74~83 mm 区段加强防护;为降低踝关节旋后外旋型骨折的风险,重点应对腓骨原点以上 4~45 mm 区段加强防护。

一项针对旋前外旋型和旋后外旋型骨折进行病例影像学测量的研究中,通过量取 CT 图像中轴向、径向、法向损伤位置和方向发现,撕裂型骨折多为旋前外旋型,而大骨块分离骨折多为旋后外旋型^[19]。但是,该研究仅比较不同类型损伤之间的区别,没有获得高危区域的位置。相比而言,本文通过对 X 线片进行测量,获得跳伞着陆伤的高发位置,可为损伤防护提供一定的理论支撑。

总体而言,为降低胫腓骨和踝关节伞伤骨折风险,需要重点预防胫腓骨一并骨折的情况,并重点限制踝关节旋前外旋和旋后外旋运动造成的骨折。骨折易发区段的分析显示,胫骨骨干原点以上 57~

143 mm 区段及原点以下 6 mm 至以上 24 mm 区段、腓骨原点以上 4~45 mm 区段及原点以上 74~83 mm 区段需要加强防护。

本文的局限性如下:① 收集病例的数量仍然较少。② 对骨折区段的定义较为简单,不能完全反映胫腓骨骨折的形成机制。③ 在提出胫腓骨和踝关节的重点防护区段及重点约束运动后,尚缺乏进一步针对护具设计的相关研究。

4 结论

在我国半蹲式跳伞着陆过程中,胫腓骨均发生骨折的病例在胫腓骨骨折中占比 66.7%,在踝关节骨折中占比 90.6%,是胫腓骨骨折和踝关节骨折伞伤病例的主要形式。胫腓骨骨折中,占比最大的分型为 42-D/5.2 型(45.8%)和 42-D/5.1 型(16.7%)。胫骨防护的重点区段为原点以上 57.1~143.8 mm 区段。踝关节骨折病例中,占比最大的两种分型为 PER-IV(43.8%)和 SER-IV(25%),造成损伤的踝关节运动方式主要为旋后外旋和旋前外旋(共占比 96.9%),故踝关节旋后外旋和旋前外旋两种活动度是需要跳伞着陆损伤防护设计中特别约束的。为预防踝关节旋前外旋型骨折,应对胫骨骨干原点以下 6 mm 至以上 24 mm 区段、腓骨原点以上 74~83 mm 区段加强防护;为预防踝关节旋后外旋型骨折,应对腓骨原点以上 4~45 mm 区段加强防护。

参考文献:

[1] 林淑英,杜利军,胥德顺,等. 中国与前苏联东欧体育交往及其影响的研究[J]. 体育科学, 2000, 20(6): 11-14.

[2] 姚文杰,陈龙. 国外空降兵现状及发展趋势对我空降兵装备体系建设的启示[J]. 兵工学报, 2010, 31(S2): 176-178.

[3] MELLE P, SOHN S. Military parachute mishap fatalities: A retrospective study [J]. Aviat Space Environ Med, 1990, 61(12): 1149-1152.

[4] BRICKNELL M, AMOROSO P, YORE M. What is the risk associated with being a qualified military parachutist? [J]. Occup Med, 1999, 49(3): 139-145.

[5] 任玉衡,田得祥,史和福,等. 优秀运动员的运动创伤流行病学调查[J]. 中国运动医学杂志, 2000, 19(4): 377-386.

[6] ELLITSGAARD N. Parachuting injuries: A study of 110,000 sports jumps [J]. Br J Sports Med, 1987, 21(1): 13-17.

[7] NIU W, WANG Y, HE Y, et al. Kinematics, kinetics, and

electromyogram of ankle during drop landing: A comparison between dominant and non-dominant limb [J]. Hum Movement Sci, 2011, 30(3): 614-623.

- [8] 罗依雪,罗陈宇,蔡宇辉,等. 高冲击运动时不同着陆姿势对骨密度和骨矿含量的影响[J]. 医用生物力学, 2018, 33(2): 168-173.
- LUO YX, LUO CY, CAI YH, et al. Effects of different landing postures on bone mineral density and content during high-impact exercises [J]. J Med Biomech, 2018, 33(2): 168-173.
- [9] 王熙,杨扬,孙晓乐,等. 神经肌肉疲劳前后运动鞋对下肢落地冲击的生物力学影响[J]. 医用生物力学, 2020, 35(3): 356-363.
- WANG X, YANG Y, SUN XL, et al. Biomechanical effects of shoe cushioning on lower extremities during drop landing before and after neuromuscular fatigue [J]. J Med Biomech, 2020, 35(3): 356-363.
- [10] EKELAND A. Injuries in military parachuting: A prospective study of 4499 jumps [J]. Injury, 1997, 28(3): 219-222.
- [11] 王秀增. 伞兵跳伞着陆损伤 150 例分析[J]. 航空军医, 1996, 24(2): 78.
- [12] JOHNSON E, GAYDOS S, PAVELITES J, et al. U.S. Army parachute mishap fatalities: 2010-2015 [J]. Aerosp Med Hum Perform, 2019, 90(7): 637-642.
- [13] 谢雄,安效忠,田迎军. 1759 例跳伞伤致伤因素分析[J]. 解放军预防医学杂志, 2004, 22(2): 114-115.
- [14] 邱明辉,刘海一. DICOM 标准医学图像文件解析及工具软件的研制[J]. 中国医学影像学杂志, 2009, 17(5): 368-373.
- [15] LILLYWHITE L. Analysis of extrinsic factor associated with 379 injuries occurring during 34 236 military parachute descents [J]. J Roy Army Med Corps, 1991, 137(3): 115.
- [16] HUGHES C, WEINRAUCH P. Military static line parachute injuries in an australian commando battalion [J]. ANZ J Surg, 2010, 78(10): 848-852.
- [17] 李志强,王忠仁,逢健飞,等. 空降兵伞训致踝关节骨折的分型及损伤机制[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2011, 26(4): 376-377.
- [18] MOCOAIN P, BEJARANO-PINEDA L, GLISSON R, et al. Biomechanical effect on joint stability of including deltoid ligament repair in an ankle fracture soft tissue injury model with deltoid and syndesmotom disruption [J]. Foot Ankle Int, 2020, 41(9): 1158-1164.
- [19] VOSOUGHI AR, JAYATILAKA MLT, FISCHER B, et al. CT Analysis of the posteromedial fragment of the posterior malleolar fracture [J]. Foot Ankle Int, 2019, 40(6): 648-655.