

## 功能性踝关节不稳本体感觉特征的 Meta 分析

吴一晗<sup>1</sup>, 魏乔叶<sup>2</sup>, 庞宇<sup>1</sup>, 刘中强<sup>1</sup><https://doi.org/10.12307/2023.341>

投稿日期: 2022-04-21

采用日期: 2022-06-13

修回日期: 2022-06-27

在线日期: 2022-07-25

中图分类号:

R459.9; R318; R605

文章编号:

2095-4344(2023)18-02943-10

文献标识码: A

## 文章快速阅读: 功能性踝关节不稳本体感觉特征的差异

Meta 分析目的:  
系统评价功能性踝关节不稳患者的本体感觉特征。

文献来源数据库:  
PubMed, Web of Science, EBSCO-host, Ovid, EMbase 和中国知网数据库。

## 纳入文献:

纳入 26 项观察性研究, 共 547 例功能性踝关节不稳患者, 结局指标为运动觉的最小阈值、关节位置觉和力觉的绝对误差。

## 单侧功能性踝关节不稳患者

- (1) 与对侧肢体相比存在内翻运动觉缺陷;
- (2) 与健康人群相比存在内翻运动觉、主动与被动内翻关节位置觉、主动外翻关节位置觉与内翻和外翻的力觉缺陷。

## 文题释义:

**功能性踝关节不稳:** 是指在初次踝关节扭伤后导致关节周围的软组织受损、本体感觉障碍以及神经肌肉控制能力下降, 出现踝关节不稳、疼痛及肿胀等症状并发生反复性踝扭伤而无结构上的异常。

**本体感觉:** 是指在静止或运动状态下由位于肌肉、肌腱、皮肤及韧带等处的本体感受器产生的深部感觉, 主要包括运动觉、关节位置觉及力觉。

## 摘要

**目的:** 功能性踝关节不稳表现为本体感觉异常、神经肌肉控制能力下降以及反复性踝扭伤, 严重影响其日常活动。本体感觉作为功能性踝关节不稳的重要方面, 与对侧肢体和健康人群相比是否存在本体感觉的缺陷尚不明晰。因此, 文章旨在分析功能性踝关节不稳的本体感觉特征。

**方法:** 计算机检索 PubMed, Web of Science, EBSCO-host, Ovid, EMbase 和中国知网数据库, 搜索有关功能性踝关节不稳本体感觉特征的观察性研究, 暴露因素为运动觉、关节位置觉、力觉中至少一项本体感觉缺陷, 检索时限为各数据库建库至 2022 年 2 月。由 2 名研究者根据纳入与排除标准独立筛选文献并根据纽卡斯尔-渥太华量表与美国医疗保健研究和质量机构制定的横断面研究质量评价表评价纳入研究的质量, 提取有关运动觉、关节位置觉、力觉与设定目标的绝对误差, 使用 RevMan 5.3 软件进行 Meta 分析。

**结果:** 共纳入 26 项观察性研究, 其中 4 项队列研究, 6 项病例-对照研究, 16 项横断面研究, 均为中等以上质量文献。Meta 分析结果显示: 单侧功能性踝关节不稳患者相比于对侧肢体和健康人群存在内翻运动觉缺陷( $SMD=0.53$ ,  $95\%CI: 0.36-0.71$ ,  $P<0.000\ 01$ ); 单侧功能性踝关节不稳患者相比于对侧肢体存在内翻关节位置觉(主动与被动复制)的缺陷( $SMD=1.60$ ,  $95\%CI: 0.77-2.43$ ,  $P=0.000\ 2$ ); 单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群存在内翻关节位置觉(主动与被动复制)的缺陷( $SMD=0.66$ ,  $95\%CI: 0.25-1.07$ ,  $P=0.002$ ); 单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群存在主动外翻关节位置觉缺陷( $SMD=3.68$ ,  $95\%CI: 1.85-5.52$ ,  $P<0.000\ 1$ ); 单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群存在被动外翻关节位置觉缺陷( $SMD=-0.61$ ,  $95\%CI: -1.19$  至  $-0.02$ ,  $P=0.04$ ); 单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群在跖屈关节位置觉(主动与被动复制)方面无显著性差异( $SMD=0.80$ ,  $95\%CI: -0.19-1.79$ ,  $P=0.11$ ); 单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群在背屈关节位置觉(主动与被动复制)方面无显著性差异( $SMD=0.86$ ,  $95\%CI: -0.01-1.74$ ,  $P=0.05$ ); 单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群存在冠状面运动的力觉缺陷( $SMD=1.35$ ,  $95\%CI: 0.85-1.85$ ,  $P<0.000\ 01$ ), 并且亚组分析显示, 单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群, 外翻力觉误差大于与内翻力觉误差( $P=0.44$ )。

**结论:** 单侧功能性踝关节不稳患者与对侧肢体相比存在内翻运动觉缺陷, 而与健康人群相比存在内翻运动觉、主被动内翻关节位置觉、主动外翻关节位置觉、内翻和外翻的力觉缺陷。

**关键词:** 功能性踝关节不稳; 本体感觉; 运动觉; 关节位置觉; 力觉; 主动运动范围辨别评估; Meta 分析; 系统评价; 踝关节; 观察性研究

## Proprioception characteristics of functional ankle instability: a meta-analysis

Wu Yihan<sup>1</sup>, Wei Qiaoye<sup>2</sup>, Pang Yu<sup>1</sup>, Liu Zhongqiang<sup>1</sup><sup>1</sup>School of Physical Education, Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan Province, China; <sup>2</sup>Department of Rehabilitation Medicine, People's Hospital of Wulong District of Chongqing, Chongqing 408500, China<sup>1</sup>西南医科大学体育学院, 四川省泸州市 646000; <sup>2</sup>重庆市武隆区人民医院康复医学科, 重庆市 408500

第一作者: 吴一晗, 男, 1997 年生, 黑龙江省齐齐哈尔市人, 汉族, 西南医科大学在读硕士, 主要从事运动康复的相关研究。

通讯作者: 刘中强, 博士, 副教授, 硕士生导师, 西南医科大学体育学院, 四川省泸州市 646000

<https://orcid.org/0000-0002-5180-9390> (吴一晗); <https://orcid.org/0000-0002-2023-3982> (刘中强)

基金资助: 泸州市-西南医科大学联合基金项目 [2015LZCYD-R11(1/7)], 项目负责人: 庞宇; 2018 年四川省教育厅科研项目

(18SB0811), 项目负责人: 刘中强

引用本文: 吴一晗, 魏乔叶, 庞宇, 刘中强. 功能性踝关节不稳本体感觉特征的 Meta 分析 [J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(18):2943-2952.



Wu Yihan, Master candidate, School of Physical Education, Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan Province, China

**Corresponding author:** Liu Zhongqiang, MD, Associate professor, Master's supervisor, School of Physical Education, Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan Province, China

## Abstract

**OBJECTIVE:** Functional ankle instability is characterized by proprioceptive deficits, decreased neuromuscular control, and recurrent ankle sprains, which severely affect the patient's daily activities. Proprioception as an important aspect of functional ankle instability, whether there is a deficit in proprioception compared to contralateral limbs and healthy individuals is not known. Therefore, this systematic review aims to analyze the proprioceptive characteristics of functional ankle instability.

**METHODS:** We searched the CNKI, PubMed, Web of Science, EBSCO-host, Ovid, and Embase databases from inception to February 2022 to collect observational studies about the proprioception characteristics of functional ankle instability, exposure to at least one proprioceptive deficit in kinesthesia, joint position sense, and force sense. Two researchers independently screened the articles according to the inclusion and exclusion criteria, and evaluated the quality of the included studies according to the Newcastle-Ottawa Scale and the cross-sectional study quality evaluation form developed by the American Institute for Healthcare Research and Quality, and extracted absolute errors relating kinesthesia, joint position sense, and force sense to set target. Meta-analysis was then performed using RevMan 5.3 software.

**RESULTS:** A total of 26 observational studies were included, including 4 cohort studies, 6 case-control studies and 16 cross-sectional studies, all of which were of medium to high quality. Meta-analysis results showed that patients with unilateral functional ankle instability had inversion kinesthesia defects compared with the contralateral limbs and healthy people ( $SMD=0.53$ ,  $95\%CI:0.36-0.71$ ,  $P<0.000\ 01$ ). Compared with the contralateral limb, patients with unilateral functional ankle instability had the defect of inversion joint position sense (active vs. passive replication) ( $SMD=1.60$ ,  $95\%CI:0.77-2.43$ ,  $P=0.000\ 2$ ). Compared with healthy people, unilateral functional ankle instability patients had the defect of inversion joint position sense (active vs. passive replication) ( $SMD=0.66$ ,  $95\%CI:0.25-1.07$ ,  $P=0.002$ ). Compared with healthy people, unilateral functional ankle instability patients had the defect of active eversion joint position sense ( $SMD=3.68$ ,  $95\%CI:1.85-5.52$ ,  $P<0.000\ 1$ ). Compared with healthy people, unilateral functional ankle instability patients had the defect of passive eversion joint position sense ( $SMD=-0.61$ ,  $95\%CI:-1.19$  to  $-0.02$ ,  $P=0.04$ ). There was no significant difference between patients with unilateral functional ankle instability and healthy subjects in plantarflexion joint position sense (active vs. passive replication) ( $SMD=0.80$ ,  $95\%CI:-0.19$  to  $1.79$ ,  $P=0.11$ ). There was no significant difference between patients with unilateral functional ankle instability and healthy subjects in dorsiflexion joint position sense (active vs. passive replication) ( $SMD=0.86$ ,  $95\%CI:-0.01$  to  $1.74$ ,  $P=0.05$ ). Patients with unilateral functional ankle instability had coronal plant motion force sense deficits compared with healthy individuals ( $SMD=1.35$ ,  $95\%CI:0.85$  to  $1.85$ ,  $P<0.000\ 01$ ). Subgroup analysis showed that patients with unilateral functional ankle instability had greater eversion force sense error than those with inversion force sense error compared with the healthy population ( $P=0.44$ ).

**CONCLUSION:** Compared with the contralateral limbs, patients with unilateral functional ankle instability have the defects of inversion kinesthesia. Compared with healthy people, unilateral functional ankle instability patients have the defects of inversion kinesthesia, active and passive inversion joint position sense, active eversion joint position sense and force sense of inversion and eversion.

**Key words:** functional ankle instability; proprioception; kinesthesia; joint position sense; force sense; active movement extent discrimination assessment; meta-analysis; systematic review; ankle; observational study

**Funding:** The Joint Funds Project of Luzhou-Southwest Medical University, No. 2015LZCYD-R11(1/7) (to PY); Scientific Research Project of Sichuan Provincial Department of Education in 2018, No. 18SB0811 (to LZQ)

**How to cite this article:** WU YH, WEI QY, PANG Y, LIU ZQ. Proprioception characteristics of functional ankle instability: a meta-analysis. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2023;27(18):2943-2952.

## 0 引言 Introduction

功能性踝关节不稳 (functional ankle instability, FAI) 是最常见的肌肉骨骼系统损伤之一<sup>[1]</sup>, 最早由 FREEMAN 提出<sup>[2-3]</sup>, 其被定义为踝关节“让位”与不稳定感的频繁发作,“让位”是指踝关节出现暂时性的不稳定而即将崴脚的失控感觉。研究表明高达 34%~74% 的外侧踝关节扭伤患者会逐步发展为功能性踝关节不稳<sup>[4-6]</sup>。因此,探索功能性踝关节不稳的特征表现对于预防功能性踝关节不稳的发生以及针对性的治疗十分重要。

目前许多研究认识到本体感觉功能与功能性踝关节不稳的显著相关性<sup>[7-8]</sup>, 本体感觉主要包括运动觉、关节位置觉与力觉<sup>[9-11]</sup>, 然而其特征未得到广泛的证据支持。一些研究发现功能性踝关节不稳患者的本体感觉功能与健康人群相比无显著差异<sup>[12-13]</sup>, 而另一些研究则发现两者存在较大的差异<sup>[14-17]</sup>, 这些不一致的结果可能是由于较小的样本量以及测试方法之间的差异所致。目前已有 Meta 分析功能性踝关节不稳患者的运动觉与关节位置觉特征,但是其没有明确运动方向与参照组别,并且没有纳入有关力觉的相关文献<sup>[18]</sup>, XUE 等<sup>[19]</sup> 针对慢性踝关节不稳患者的力

觉方面进行 Meta 分析,然而单纯的力觉不能全面地反映本体感觉的功能特征。

为了全面总结功能性踝关节不稳患者中有关运动觉、关节位置觉与力觉的本体感觉特征,文章对该领域的相关文献开展系统综述并进行 Meta 分析,综合探讨功能性踝关节不稳患者在不同运动方向、不同测试方式、不同对照组之间的本体感觉差异,以期明晰功能性踝关节不稳的病理特征并为临床制定训练计划提供更加全面的参考。

## 1 资料和方法 Data and methods

### 1.1 资料来源

**1.1.1 检索者** 由第一作者与第二作者采用独立双盲方法进行文献检索。

**1.1.2 数据库** 计算机检索 PubMed, Web of Science, EBSCO-host, Ovid, Embase 和中国知网数据库。

**1.1.3 检索词** 使用 Emtree 术语、医学主题词 (Medical Subject Headings, MeSH) 和自由文本搜索,中文检索词:“功能性踝关节不稳/慢性踝关节不稳”“本体感觉/关节位置觉/运动觉/力觉”;英文检索词:“functional ankle instability”“ankle instability”“proprioception”“joint position

sense\*”“kinesthesia”等,并使用布尔逻辑运算符“OR, AND”将检索词连接。

**1.1.4 检索文献时限** 各数据库建库至 2022-02-11。

**1.1.5 数据库检索策略** 以 PubMed 数据库为例,具体检索策略见图 1。

```
#1 Proprioception [Mesh]
#2 Kinesthesia [Mesh]
#3 (deep sensitivity OR discrimination* OR kinaesthetic* OR kinesthes* OR discrimination OR kinesthetic* OR proprioception* OR proprioceptive innervation OR joint position sense* OR force sense* OR vibration sense*)
#4 #1 OR #2 OR #3
#5 Ankle Injuries [Mesh]
#6 (Ankle Injury OR Injury, Ankle OR Injuries, Ankle OR Ankle Sprains OR Ankle Sprain OR Sprain, Ankle OR Sprains, Ankle OR Syndesmotic Injuries OR Injuries, Syndesmotic OR Injury, Syndesmotic OR Syndesmotic Injury)
#7 (functional ankle instability OR ankle instability)
#8 #5 OR #6 OR #7
#9 Filters: Humans
#10 #4 AND #8 AND #9
```

图 1 | PubMed 数据库检索策略图

Figure 1 | Search strategy of PubMed database

### 1.2 纳入与排除标准

**1.2.1 纳入标准** ①研究类型为横断面研究、队列研究或病例-对照研究;②中英文文献;③研究对象为功

能性踝关节不稳患者且符合国际踝关节联盟发布的慢性踝关节不稳纳入标准<sup>[20]</sup>：a，在过去12个月内至少发生过一次严重踝关节扭伤并且至少限制了1 d的身体活动；b，踝关节存在反复扭伤和感知到的不稳定性；c，踝关节出现“让位”，即指将要内翻的失控感觉症状在6个月内至少发生过2次；④将功能性踝关节不稳的对侧肢体或健康人群作为对照组；⑤纳入研究的结局指标至少包括运动觉、关节位置觉、力觉中任意一项的绝对误差或最小运动检测阈值。

**1.2.2 排除标准** ①双侧功能性踝关节不稳的患者；②混淆研究的肢体与运动方向；③受试者踝关节前抽屉试验或距骨倾斜试验阳性；④重复发表或无法有效提取所需的数据。

**1.3 文献筛选和资料提取** 由2名研究人员采用独立双盲方式进行文献检索，如有分歧不能通过讨论解决，则通过与第三方协商解决。文献筛选时首先根据标题与摘要进行初步筛查，在排除明显不相关的文献后，根据纳入与排除标准进一步阅读全文以确定是否纳入。如遇到文献数据缺失或存在疑问，则通过邮件联系原始研究者获取未确定但对文章非常重要的信息。资料提取内容包括发表年份、作者、功能性踝关节不稳患者人数与健康组人数、实验细节和组间误差数据等。

**1.4 纳入研究的质量评价** 对于队列研究和病例-对照研究采用纽卡斯尔-渥太华量表(Newcastle-Ottawa-Scale, NOS)评价纳入研究的质量，量表包括3个维度(队列的选择、组间可比性、结果)共8个方面的评价，得分范围0-9分，0-3分、4-6分、7分及以上分别被认为是低质量、中等质量与高质量，最后由2名研究者评价并交叉核对结果<sup>[21]</sup>。对于横断面研究采用由美国医疗保健研究和质量机构(Agency for Healthcare Research and Quality, AHRQ)推荐的11项检查表进行评估，如果回答“否”或“不清楚”，则项目将被评为“0”；如果回答“是”，则该项目得分为“1”，得分范围0-11分，0-3分、4-7分和8-11分则分别被认为是低质量、中等质量与高质量<sup>[22]</sup>。

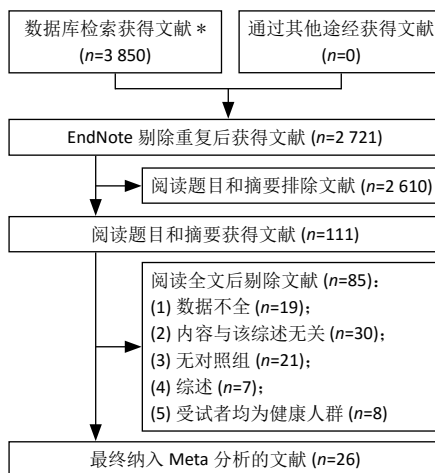
**1.5 结局指标** 运动觉的最小运动检测阈值、关节位置觉中再现位置与目标位置之间的绝对误差、力觉中再现力矩与目标力矩之间的绝对误差。

**1.6 统计学分析** 采用Cochrane协作网(<https://www.cochranelibrary.com>)提供的RevMan 5.3软件对纳入研究的数据进行统计分析。由于结局指标为连续变量，因此将标准化均数差(standardized mean difference, SMD)作为效应分析统计量，

并提供其95%CI。结局中较高的SMD值代表功能性踝关节不稳患者中存在较大的本体感觉缺陷，其中0.2-0.5被归类为弱效应，0.5-0.8被归类为中等效应，而>0.8被归类为强效应<sup>[19]</sup>。纳入研究结果间的异质性采用 $\chi^2$ 检验进行分析(检验水准为 $\alpha=0.1$ )，同时结合 $I^2$ 定量判断异质性大小<sup>[23]</sup>。根据研究间的统计学异质性，在排除明显临床异质性的影响后，当 $I^2 < 50\%$ 采用固定效应模型， $I^2 > 50\%$ 采用随机固定效应模型进行Meta分析。Meta分析的水准设为 $\alpha=0.05$ 。根据同一研究类型的不同方面采用亚组分析或敏感性分析等方法进行处理，应用漏斗图进行发表偏倚检验。

## 2 结果 Results

**2.1 文献筛选流程及结果** 根据制定的纳入与排除标准分别检索6个数据库，初步检索共获得相关文献3 850篇，随后使用EndNote X9.2软件对所检索到的重复文献进行剔除，共剔除重复文献1 129篇，对剩余文献的题目与摘要阅读后获得文献111篇，阅读全文后最终纳入26篇观察性研究<sup>[12-13, 24-47]</sup>，共包括547例功能性踝关节不稳患者。文献筛选流程及结果见图2。



图注：\* 所检索的数据库及检出文献数具体如下：PubMed(n=829)、Ovid(n=659)、EMbase(n=765)、Web of Science(n=737)、EBSCO(n=622)和中国知网(n=238)，最终纳入Meta分析的26篇文献所检索的数据库及检出文献数具体如下：PubMed(n=4)、Ovid(n=1)、EMbase(n=11)、Web of Science(n=3)、EBSCO(n=5)、中国知网(n=2)

图2 | 文献筛选流程及结果

Figure 2 | Studies screening process and results

**2.2 纳入文献基本特征** 共纳入26项观察性研究<sup>[12-13, 24-47]</sup>，其中有5篇文献测试了单侧功能性踝关节不稳患者与对侧肢体的内翻运动觉<sup>[25-27, 39, 43]</sup>。有19篇文献测试了单侧功能性踝关节不稳患者的关节位置觉<sup>[12-13, 24, 28, 30-32, 34-35, 37, 39-47]</sup>，其中包含与

对侧肢体和健康对照组相比在内翻、外翻、跖屈、背屈4个方向的测试，并根据主动与被动位置再现进行亚组分析。有8篇文献测试了单侧功能性踝关节不稳患者在冠状面运动的力觉<sup>[12, 29, 33, 36, 38, 40, 43, 47]</sup>，并根据内翻与外翻方向进行亚组分析，具体见表1。

**2.3 纳入文献的质量评价结果** 对纳入的26项研究进行质量评价与风险评估<sup>[12-13, 24-47]</sup>，其中队列研究和病例-对照研究根据纽卡斯尔-渥太华量表评定后显示，2项队列研究评分为6分<sup>[29, 35]</sup>，2项队列研究评分为8分<sup>[37, 43]</sup>，4项病例-对照研究为7分<sup>[31, 36, 40, 45]</sup>，2项病例-对照研究为8分<sup>[38-39]</sup>，结果显示均为中到高质量文献。另外16项横断面研究根据美国医疗保健研究和质量机构推荐的11项检查表评定后显示均为中等质量文献<sup>[12-13, 24-28, 30, 32-34, 41-42, 44, 46-47]</sup>，具体评估结果见表2。

### 2.4 Meta分析的结果

**2.4.1 两组内翻运动觉差异** 共纳入5篇文献<sup>[24, 26-27, 39, 43]</sup>。异质性分析结果显示： $I^2=45\%$ ， $P=0.06$ ，纳入研究的异质性较低。采用固定效应模型进行Meta分析结果显示：单侧功能性踝关节不稳患者相较于对照组(对侧肢体、健康人群)存在内翻运动觉缺陷( $SMD=0.53$ ，95%CI: 0.36-0.71， $P < 0.000 01$ )。按对照来源进行亚组分析显示，单侧功能性踝关节不稳患者与对侧肢体相比存在内翻运动觉缺陷( $SMD=0.42$ ，95%CI: 0.16-0.69， $P=0.001$ )，与健康人群相比存在内翻运动觉缺陷( $SMD=0.62$ ，95%CI: 0.39-0.86， $P < 0.000 01$ )，见图3。

**2.4.2 两组关节位置觉差异** 功能性踝关节不稳与对侧肢体比较：共5篇观察踝关节内翻的文献<sup>[30-32, 39, 43]</sup>，异质性分析结果显示： $I^2=92\%$ ， $P < 0.000 01$ ，纳入研究的异质性较大，进行敏感性分析调查异质性来源，当剔除HANCI等<sup>[39]</sup>后汇总的异质性显示， $I^2=64\%$ ， $P < 0.000 7$ ，这提示HANCI等<sup>[39]</sup>可能是较大异质性的来源。采用随机效应模型进行Meta分析结果显示：单侧功能性踝关节不稳患者相比于对侧肢体存在内翻关节位置觉(主动与被动复制)的缺陷( $SMD=1.60$ ，95%CI: 0.77-2.43， $P=0.000 2$ )。按主被动复制进行亚组分析显示，主动复制条件下，单侧功能性踝关节不稳患者相比于对侧肢体存在内翻关节位置觉的缺陷( $SMD=2.25$ ，95%CI: 0.47-4.02， $P=0.01$ )，被动复制条件下，单侧功能性踝关节不稳患者相比于对侧肢体存在内翻关节位置觉的缺陷( $SMD=1.25$ ，95%CI: 0.29-2.21， $P=0.01$ )，见图4。



表 1 | 纳入研究的基本特征

Table 1 | General features of the included studies

| 第一作者 / 发表年份                      | 研究类型      | 单侧 FAI 组 (n) | 健康对照 组 (n) | 本体感觉类型            | 比较方式       | 运动方向                                                      | 角速度 [(°)/s]   | 结局指标             |
|----------------------------------|-----------|--------------|------------|-------------------|------------|-----------------------------------------------------------|---------------|------------------|
| JEROSCH <sup>[24]</sup> , 1995   | 横断面研究     | 16           | 14         | 主动关节位置觉           | 与健康人群比较    | 内翻 (5°, 15°, 20°)                                         | 未描述           | 绝对误差             |
| LENTELL <sup>[25]</sup> , 1995   | 横断面研究     | 42           | 未描述        | 运动觉               | 与对侧比较      | 内翻                                                        | 0.3           | 最小运动检测阈值         |
| HUBBARD <sup>[26]</sup> , 2002   | 横断面研究     | 16           | 未描述        | 运动觉               | 与对侧比较      | 内翻、外翻                                                     | 0.5           | 最小运动检测阈值         |
| REFSHAUGE <sup>[27]</sup> , 2003 | 横断面研究     | 39           | 30         | 运动觉               | 与健康人群比较    | 内翻、外翻                                                     | 0.1, 0.5, 2.5 | 70% 最小运动检测阈值检测水平 |
| YOU <sup>[28]</sup> , 2004       | 横断面研究     | 6            | 4          | 主动关节位置觉           | 与健康人群比较    | 内翻、外翻、跖屈、背屈                                               | 未描述           | 绝对误差             |
| BROWN <sup>[13]</sup> , 2005     | 横断面研究     | 10           | 10         | 被动关节位置觉           | 与健康人群比较    | 内翻、外翻、跖屈、背屈 (最大关节活动度的 10%, 90%)                           | 未描述           | 绝对误差             |
| ARNOLD <sup>[29]</sup> , 2006    | 回顾性队列研究   | 20           | 未描述        | 力觉                | 与对侧比较      | 外翻 (10%, 30%MVIC)                                         | 未描述           | 绝对误差、恒定误差、可变误差   |
| SEKIR <sup>[30]</sup> , 2007     | 横断面研究     | 24           | 未描述        | 被动关节位置觉           | 与对侧比较      | 内翻 (10°, 20°)                                             | 未描述           | 绝对误差             |
| SANTOS <sup>[31]</sup> , 2008    | 病例 - 对照研究 | 21           | 16         | 被动关节位置觉           | 与对侧和健康人群比较 | 内翻 (30°)                                                  | 未描述           | 绝对误差             |
| NAKASA <sup>[32]</sup> , 2008    | 横断面研究     | 12           | 17         | 主动关节位置觉           | 与对侧和健康人群比较 | 内翻 (5°-30°)                                               | 未描述           | 绝对误差             |
| DOCHERTY <sup>[33]</sup> , 2008  | 横断面研究     | 20           | 20         | 力觉                | 与健康人群比较    | 内翻 (10%, 20%, 30%MVIC)                                    | 未描述           | 绝对误差、可变误差        |
| SEFTON <sup>[34]</sup> , 2009    | 横断面研究     | 22           | 21         | 主动关节位置觉           | 与健康人群比较    | 内翻 (15°), 跖屈 (30°)                                        | 未描述           | 绝对误差、恒定误差、可变误差   |
| SEFTON <sup>[35]</sup> , 2011    | 回顾性队列研究   | 12           | 9          | 主动关节位置觉           | 与健康人群比较    | 内翻 (15°), 跖屈 (30°)                                        | 未描述           | 可变误差             |
| WRIGHT <sup>[36]</sup> , 2012    | 病例 - 对照研究 | 32           | 32         | 力觉                | 与健康人群比较    | 外翻 (10%, 30%)                                             | 未描述           | 绝对误差、恒定误差、可变误差   |
| STEIB <sup>[37]</sup> , 2013     | 回顾性队列研究   | 19           | 19         | 被动关节位置觉           | 与健康人群比较    | 内翻 (10°, 15°, 20°)                                        | 未描述           | 绝对误差             |
| KIM <sup>[12]</sup> , 2014       | 横断面研究     | 35           | 34         | 主动关节位置觉、力觉        | 与健康人群比较    | 内翻、外翻、跖屈、背屈 (最大关节活动度的 10%, 20%, 30%); 内翻、外翻 (10%-30%MVIC) | 未描述           | 绝对误差             |
| SIMON <sup>[38]</sup> , 2014     | 病例 - 对照研究 | 14           | 14         | 力觉                | 与健康人群比较    | 内翻、外翻 (30%MVIC)                                           | 未描述           | 绝对误差             |
| HANCI <sup>[39]</sup> , 2016     | 病例 - 对照研究 | 13           | 未描述        | 运动觉、主动与被动关节位置觉    | 与健康人群比较    | 内翻 (10°, 20°)、跖屈 (15°, 30°)                               | 0.1           | 最小运动检测阈值、绝对误差    |
| KIM <sup>[40]</sup> , 2016       | 病例 - 对照研究 | 40           | 39         | 主动关节位置觉、力觉        | 与健康人群比较    | 内翻、外翻、跖屈、背屈 (最大关节活动度的 10%, 20%, 30%); 内翻、外翻 (10%-30%MVIC) | 未描述           | 绝对误差             |
| LIN <sup>[41]</sup> , 2016       | 横断面研究     | 13           | 11         | 主动关节位置觉           | 与健康人群比较    | 内翻、外翻、跖屈、背屈 (10°)                                         | 未描述           | 绝对误差、可变误差        |
| 梁炳寅 <sup>[42]</sup> , 2016       | 横断面研究     | 21           | 30         | 被动关节位置觉           | 与健康人群比较    | 内翻 (20°, 30°)                                             | 未描述           | 绝对误差             |
| SOUSA <sup>[43]</sup> , 2017     | 回顾性队列研究   | 24           | 20         | 运动觉、主动与被动关节位置觉、力觉 | 与对侧和健康人群比较 | 内翻 (5°, 15°)、外翻 (20%MVIC)                                 | 0.25, 1       | 最小运动检测阈值、绝对误差    |
| MARINHO <sup>[44]</sup> , 2017   | 横断面研究     | 18           | 18         | 被动关节位置觉           | 与健康人群比较    | 跖屈 (10°)                                                  | 未描述           | 绝对误差             |
| NANBANCHA <sup>[45]</sup> , 2019 | 病例 - 对照研究 | 19           | 19         | 被动关节位置觉           | 与健康人群比较    | 内翻 (10°)、外翻 (30°)、跖屈 (30°)、背屈 (15°)                       | 未描述           | 绝对误差             |
| CHANG <sup>[46]</sup> , 2020     | 横断面研究     | 26           | 14         | 被动关节位置觉           | 与健康人群比较    | 内翻、外翻、跖屈、背屈 (15°)                                         | 未描述           | 绝对误差             |
| 付光亮 <sup>[47]</sup> , 2021       | 横断面研究     | 10           | 10         | 被动关节位置觉、力觉        | 与健康人群比较    | 内翻、跖屈 (随机位置); 内翻 (25%MVIC)                                | 未描述           | 绝对误差、可变误差        |

表注: FAI 为功能性踝关节不稳; MVIC 为最大随意等长收缩测试

表 2 | 纳入的横断面研究质量评价结果

(分)

Table 2 | Quality evaluation of the included cross sectional studies

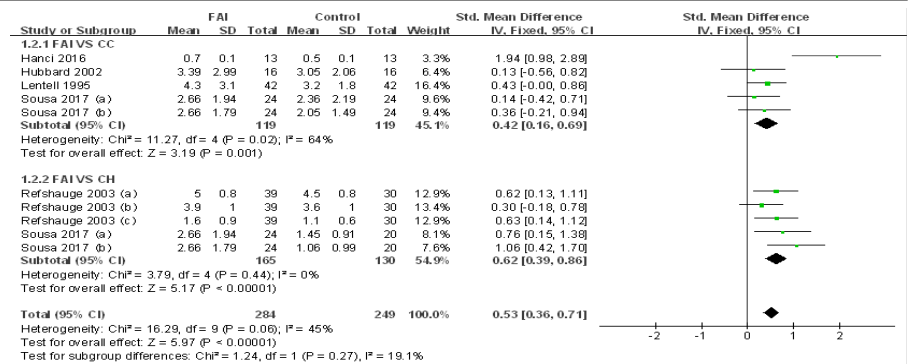
| 第一作者 / 发表年份                      | 条目 1 | 条目 2 | 条目 3 | 条目 4 | 条目 5 | 条目 6 | 条目 7 | 条目 8 | 条目 9 | 条目 10 | 条目 11 | 总分 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|----|
| JEROSCH <sup>[24]</sup> , 1995   | √    | √    | /    | ×    | √    | ×    | /    | √    | √    | √     | /     | 6  |
| LENTELL <sup>[25]</sup> , 1995   | √    | √    | /    | ×    | √    | ×    | √    | ×    | √    | √     | /     | 6  |
| HUBBARD <sup>[26]</sup> , 2002   | √    | √    | /    | ×    | √    | ×    | √    | √    | √    | /     | /     | 6  |
| REFSHAUGE <sup>[27]</sup> , 2003 | √    | √    | /    | ×    | /    | ×    | √    | √    | √    | /     | /     | 5  |
| YOU <sup>[28]</sup> , 2004       | √    | √    | /    | ×    | √    | ×    | √    | √    | /    | √     | /     | 6  |
| BROWN <sup>[13]</sup> , 2005     | √    | √    | /    | ×    | √    | ×    | √    | √    | √    | /     | /     | 6  |
| SEKIR <sup>[30]</sup> , 2007     | √    | √    | /    | ×    | /    | √    | √    | /    | √    | √     | √     | 7  |
| NAKASA <sup>[32]</sup> , 2008    | √    | √    | /    | ×    | /    | ×    | √    | √    | /    | √     | /     | 5  |
| DOCHERTY <sup>[33]</sup> , 2008  | √    | √    | /    | ×    | √    | ×    | /    | √    | √    | /     | /     | 5  |
| SEFTON <sup>[34]</sup> , 2009    | √    | √    | /    | ×    | /    | ×    | √    | √    | √    | /     | /     | 5  |
| KIM <sup>[12]</sup> , 2014       | √    | √    | /    | ×    | √    | ×    | √    | √    | √    | √     | /     | 7  |
| LIN <sup>[41]</sup> , 2016       | √    | √    | /    | ×    | √    | √    | √    | ×    | √    | /     | /     | 6  |
| 梁炳寅 <sup>[42]</sup> , 2016       | √    | √    | /    | ×    | √    | ×    | √    | ×    | /    | √     | /     | 5  |
| MARINHO <sup>[44]</sup> , 2017   | √    | √    | /    | ×    | √    | ×    | ×    | √    | √    | √     | /     | 6  |
| CHANG <sup>[46]</sup> , 2020     | √    | √    | /    | ×    | √    | ×    | √    | √    | √    | /     | /     | 6  |
| 付光亮 <sup>[47]</sup> , 2021       | √    | √    | /    | ×    | √    | ×    | √    | ×    | √    | √     | /     | 6  |

表注: √ 代表是; × 代表否; / 代表不清楚; 条目 1: 是否明确了资料的来源; 条目 2: 是否列出了病例与对照组的纳入及排除标准或参考了以往的出版物; 条目 3: 哪个时间段内的患者被纳入研究; 条目 4: 是否将某个时间段内全部的患者纳入研究; 条目 5: 对于患者主观化指标的评估者是否与其他客观的指标结果相隔离; 条目 6: 描述了任何为保证质量而进行的评估; 条目 7: 对部分患者的排除提供了解释; 条目 8: 对混杂因素进行描述和 (或) 控制; 条目 9: 如果存在缺失值, 解释了分析中是如何处理缺失数据的; 条目 10: 总结了患者的应答率及数据收集的完整性; 条目 11: 如果有随访, 提供了缺失数据所占的百分比或随访结果。该评分总分 0-3 分为低质量; 4-7 分为中等质量; 8-11 为高质量。

共纳入 16 篇观察踝关节内翻的文献 [12-13, 24, 28, 31-32, 34-35, 37, 40-43, 45-47]。异质性分析结果显示:  $I^2=86\%$ ,  $P < 0.000 01$ , 纳入研究的异质性较大, 进行敏感性分析调查异质性来源, 当剔除梁炳寅等 [42] 文献后被动内翻复制的异质性显示,  $I^2=0\%$ ,  $P=0.17$ , 这提示梁炳寅等 [42] 文献可能是被动内翻位置觉较大异质性的来源。采用随机效应模型进行 Meta 分析结果显示: 单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群存在内翻关节位置觉的缺陷 ( $SMD=0.66$ ,  $95\%CI: 0.25-1.07$ ,  $P=0.002$ )。按主被动进行亚组分析显示, 主动复制条件下, 单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群存在内翻关节位置觉的缺陷 ( $SMD=0.80$ ,  $95\%CI: 0.11-1.48$ ,  $P=0.02$ ), 被动复制条件下, 单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群存在内翻关节位置觉的缺陷 ( $SMD=0.55$ ,  $95\%CI: 0.04-1.05$ ,  $P=0.03$ ), 见图 5。

共纳入有 7 篇文献观察了踝关节外翻 [12-13, 28, 40-41, 45-46]。异质性分析结果显示:  $I^2=97\%$ ,  $P < 0.000 01$ , 纳入研究的异质性较大, 进行主被动亚组分析显示主动外翻位置觉可能是较大异质性的来源 ( $I^2=91\%$ ,  $P < 0.000 01$ )。采用随机效应模型进行 Meta 分析结果显示: 单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群相比不存在外翻关节位置觉的差异 ( $SMD=1.81$ ,  $95\%CI: 0.02-3.60$ ,  $P=0.05$ )。按主被动进行亚组分析显示, 主动复制条件下, 单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群相比存在外翻关节位置觉缺陷 ( $SMD=3.68$ ,  $95\%CI: 1.85-5.52$ ,  $P < 0.000 1$ ), 被动复制条件下, 健康人群相比于单侧功能性踝关节不稳患者存在外翻关节位置觉缺陷 ( $SMD=-0.61$ ,  $95\%CI: -1.19$  至  $-0.02$ ,  $P=0.04$ ), 见图 6。

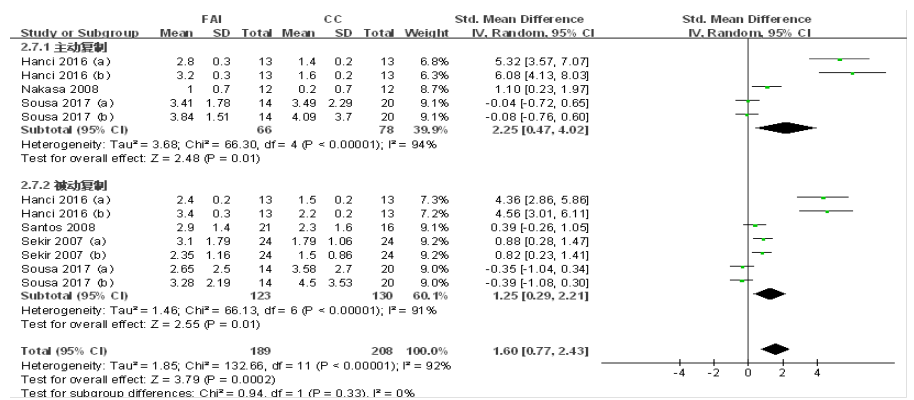
共纳入 11 篇文献观察了踝关节跖屈 [12-13, 28, 34-35, 40-41, 44-47]。异质性分析结果显示:  $I^2=94\%$ ,  $P < 0.000 01$ , 纳入研究的异质性较大, 进行敏感性分析调查异质性来源, 当剔除后 CHANG 等 [46] 被动跖屈复制的异质性显示,  $I^2=19\%$ ,  $P=0.29$ , 这提示 CHANG 等 [46] 可能是被动跖屈位置觉较大异质性的来源。采用随机效应模型进行 Meta 分析结果显示: 单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群相比不存在跖屈关节位置觉的差异 ( $SMD=0.80$ ,  $95\%CI: -0.19-1.79$ ,  $P=0.11$ )。按主被动进行亚组分析显示, 主动复制条件下, 单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群相比不存在跖屈关节位置觉的差异 ( $SMD=1.05$ ,  $95\%CI: -0.56-2.65$ ,  $P=0.20$ ), 被动复制条件下, 单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群相比不



图注: 单侧功能性踝关节不稳 (FAI) 患者与对侧肢体 (CC)、健康人群 (CH) 相比, 均存在内翻运动觉的缺陷。图中重复的文献是由于角速度与对照组别的不同所致, Sousa 2017(a), (b) 中的角速度分别为 0.25, 1 ( $^{\circ}$ )/s, Refshaug 2003(a), 2003(b), 2003(c) 中的角速度分别为 0.1, 0.5, 2.5 ( $^{\circ}$ )/s

图 3 | 两组内翻运动觉差异的 Meta 分析森林图

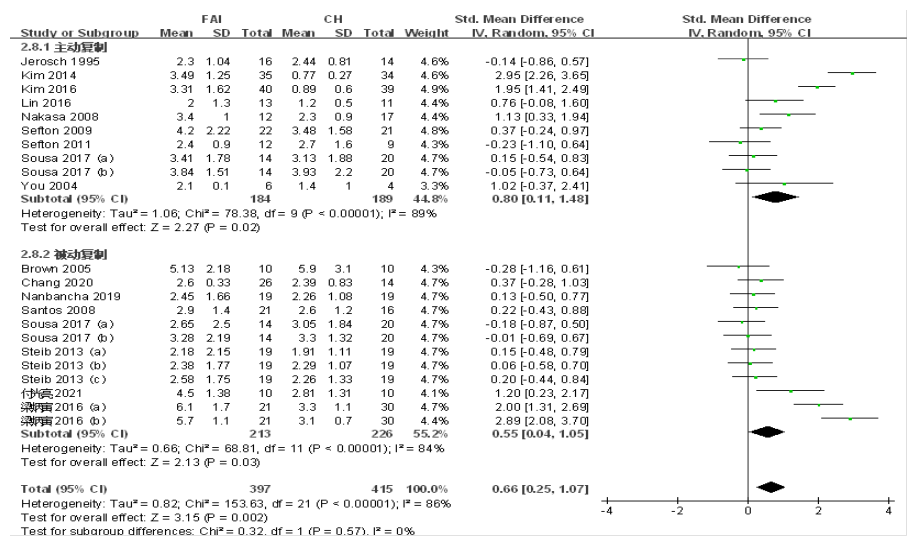
Figure 3 | Forest plot regarding the meta-analysis of inversion kinesthetic difference in both groups



图注: 单侧功能性踝关节不稳 (FAI) 患者与健康对侧 (CC) 相比, 存在主动与被动内翻关节位置觉的缺陷。图中重复的文献是由于再现参考角度与复制方式的不同所致, Hanci 2016(a), (b) 中的再现角度分别为内翻 10°, 20°, Sousa 2017(a), (b) 中的再现角度分别为内翻 5°, 15°, Sekir 2007(a), (b) 中的再现角度分别为内翻 10°, 20°

图 4 | 两组内翻关节位置觉差异的 Meta 分析森林图 (与对侧比较)

Figure 4 | Forest plot regarding the meta-analysis of inversion joint position sense in both groups (comparison with the contralateral side)



图注: 单侧功能性踝关节不稳 (FAI) 患者与健康人群 (CH) 相比, 存在主动与被动内翻关节位置觉的缺陷。图中重复的文献是由于再现参考角度与复制方式的不同所致, Sousa 2017(a), (b) 中的再现角度分别为内翻 5°, 15°, Steib 2013(a), (b), (c) 中的再现角度分别为内翻 10°, 15°, 20°, 梁炳寅 2016(a), (b) 中的再现角度分别为内翻 20°, 30°

图 5 | 两组内翻关节位置觉差异的 Meta 分析森林图 (与健康人群比较)

Figure 5 | Forest plot regarding the meta-analysis of inversion joint position sense in both groups (comparison with the healthy individuals)

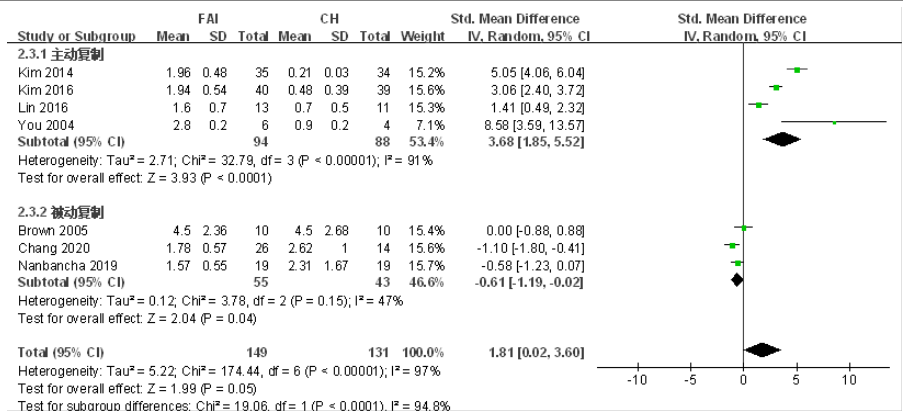
存在距屈关节位置觉的差异 ( $SMD=0.32$ ,  $95\%CI: -0.28-0.91$ ,  $P=0.29$ ), 见图 7。

共纳入 7 篇文献观察了踝关节背屈 [12-13, 28, 40-41, 45-46]。异质性分析结果显示,  $I^2=90\%$ ,  $P<0.000\ 01$ , 纳入研究的异质性较大, 进行敏感性分析调查异质性来源, 当剔除后 KIM 等 [12] 主动背屈复制的异质性显示,  $I^2=40\%$ ,  $P=0.17$ , 这提示 KIM 等 [12] 可能是主动复制较大异质性的来源。采用随机效应模型进行 Meta 分析结果显示: 单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群相比不存在背屈关节位置觉差异 ( $SMD=0.86$ ,  $95\%CI: -0.01-1.74$ ,  $P=0.05$ )。按主被动进行亚组分析显示, 主动复制条件下, 单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群相比不存在背屈关节位置觉差异 ( $SMD=0.99$ ,  $95\%CI: -0.28-2.25$ ,  $P=0.13$ ), 被动复制条件下, 单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群相比不存在背屈关节位置觉差异 ( $SMD=0.53$ ,  $95\%CI: -0.36-1.443$ ,  $P=0.25$ ), 见图 8。

**2.4.3 两组力觉差异** 共纳入 8 篇文献观察了力觉 [12, 29, 33, 36, 38, 40, 43, 47]。异质性分析结果显示:  $I^2=88\%$ ,  $P<0.000\ 01$ , 纳入研究的异质性较大, 进行敏感性分析调查异质性来源, 当剔除 KIM 等 [12] 后外翻力觉的异质性显示,  $I^2=46\%$ ,  $P=0.10$ , 这提示 KIM 等 [12] 可能是外翻力觉较大异质性的来源。采用随机效应模型 Meta 分析结果显示: 单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群存在冠状面运动的力觉缺陷 ( $SMD=1.35$ ,  $95\%CI: 0.85-1.85$ ,  $P<0.000\ 01$ )。按内外翻进行亚组分析显示, 在内翻方向, 单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群存在力觉缺陷 ( $SMD=1.12$ ,  $95\%CI: 0.41-1.83$ ,  $P=0.002$ ), 在外翻方向, 单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群存在力觉缺陷 ( $SMD=1.51$ ,  $95\%CI: 0.80-2.22$ ,  $P<0.000\ 1$ ), 见图 9。

**2.5 敏感性分析结果** 对每篇纳入的文献进行逐一剔除, 再将剩余文献的效应量进行合并。敏感性分析结果显示, 在内翻关节位置觉的 Meta 分析中, 当剔除 KIM 等 [12] 后效应量由 ( $SMD=0.86$ ,  $95\%CI: -0.01-1.74$ ,  $P=0.05$ ) 变为 ( $SMD=0.48$ ,  $95\%CI: 0.09-0.88$ ,  $P=0.02$ ), 当剔除 YOU 等 [28] 后效应量由 ( $SMD=0.86$ ,  $95\%CI: -0.01-1.74$ ,  $P=0.05$ ) 变为 ( $SMD=1.04$ ,  $95\%CI: 0.10-1.97$ ,  $P=0.03$ ), 其余文献剔除后均未见明显改变。

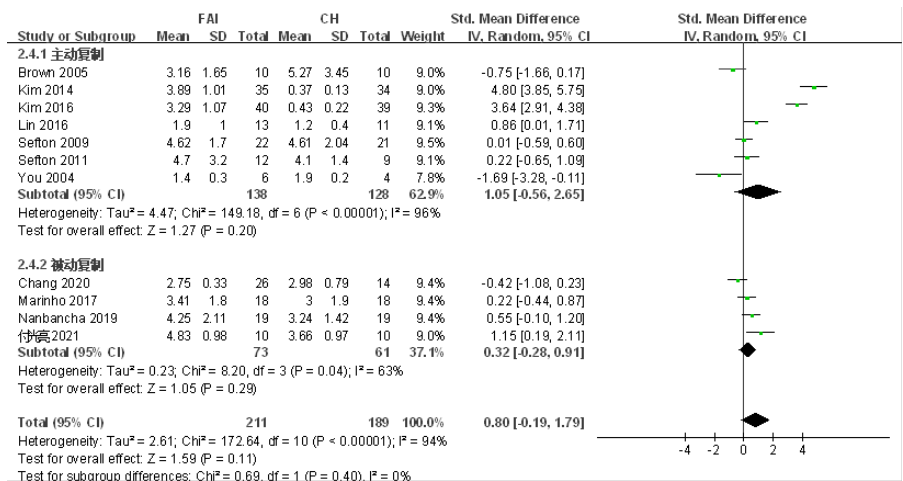
**2.6 发表偏倚分析** 根据《Cochrane 干预措施系统评价手册》的建议, 当纳入的研究过少时, 漏斗图无法真实反映可能存在的发表偏倚, 因此文章仅将内翻运动觉、



图注: 单侧功能性踝关节不稳 (FAI) 患者与健康人群 (CH) 相比, 存在主动外翻关节位置觉的缺陷, 而与健康人群的被动外翻关节位置觉相比无显著差异

图 6 | 两组外翻关节位置觉差异的 Meta 分析森林图 (与健康人群比较)

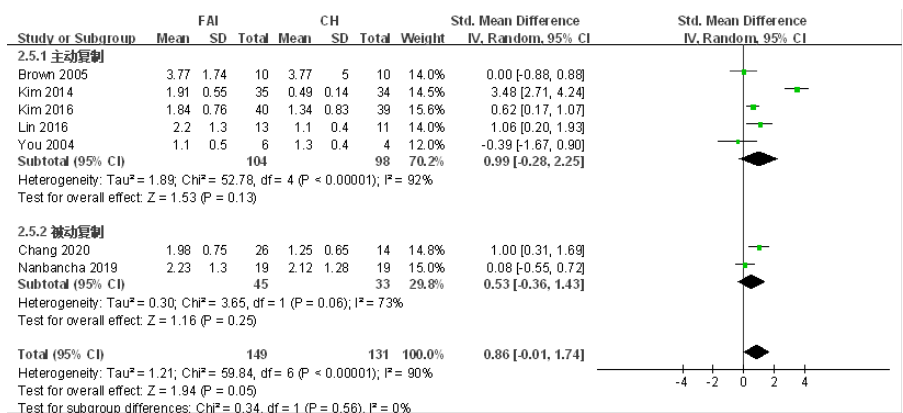
Figure 6 | Forest plot regarding the meta-analysis of eversion joint position sense in both groups (comparison with the healthy individuals)



图注: 单侧功能性踝关节不稳 (FAI) 患者与健康人群 (CH) 相比, 无主动与被动距屈关节位置觉差异

图 7 | 两组距屈关节位置觉差异的 Meta 分析森林图 (与健康人群比较)

Figure 7 | Forest plot regarding the meta-analysis of plantar flexion joint position sense in both groups (comparison with the healthy individuals)



图注: 单侧功能性踝关节不稳 (FAI) 患者与健康人群 (CH) 相比, 无主动与被动背屈关节位置觉差异

图 8 | 两组背屈关节位置觉差异的 Meta 分析森林图 (与健康人群比较)

Figure 8 | Forest plot regarding the meta-analysis of dorsiflexion joint position sense in both groups (comparison with the healthy individuals)



内翻关节位置觉(与健康人群比较)、冠状面运动的力觉进行偏倚漏斗图分析。结果显示,在内翻运动觉方面,通过观察发现有1篇文献存在较大的偏倚风险<sup>[39]</sup>,剔除后所有研究均分布于漏斗图内,分析发现相比于其他研究,文献 HANCI 等<sup>[39]</sup>中的角速度较慢,仅为0.1(°)/s,因此测试出最小运动检测阈值也较小,可能因角速度的不同而产生发表偏倚,见图10。

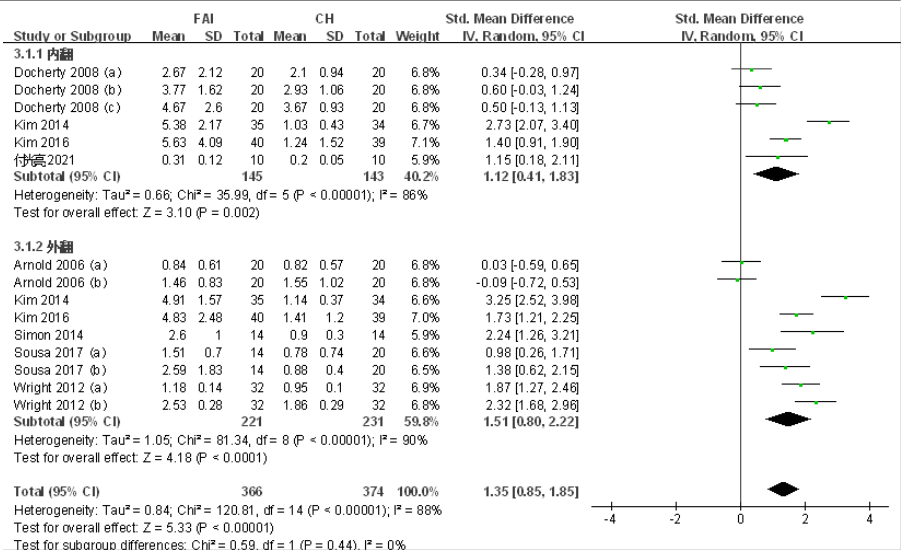
内翻关节位置觉漏斗图不对称,通过观察发现有6篇文献存在较大的偏倚风险<sup>[12, 32, 40-42, 47]</sup>,在剔除后所有研究均分布于漏斗图内且更接近于中心线,通过分析发现其中的5篇文献将目标角度设定为在一定范围内的随机角度或包含2个运动平面的角度<sup>[12, 32, 40-41, 47]</sup>,如跖屈10°,内翻10°,因此可能因角度的随机化而导致出现偏倚,另1篇文献的受试者为医院门诊的病例<sup>[42]</sup>,而其他研究的受试者多为在校学生,虽然均符合功能性踝关节不稳的纳入标准,但是可能因纳入的人群差异而出现发表偏倚,见图11。

冠状面运动的力觉漏斗图不对称,通过观察发现有3篇文献存在较大的偏倚风险<sup>[12, 29, 33]</sup>,在剔除后所有研究均分布于漏斗图内,通过分析发现 ARNOLD 等<sup>[29]</sup>是在开链条件下进行力觉测试,而其他研究均在闭链条件下进行,DOCHERTY 等<sup>[33]</sup>对受试者进行了10次重复力觉测试,相比于其他研究中常采用的3次重复,可能因肌肉疲劳而影响测试结果。这表明不同研究会因测试方法的细节不同而出现偏倚风险,见图12。

### 3 讨论 Discussion

**3.1 证据总结** 功能性踝关节不稳是外侧踝关节扭伤后的常见并发症之一,首次外侧踝关节扭伤1年后,功能性踝关节不稳患病率高达40%,与健康人群相比存在生活质量降低和体育活动参与程度的下降,并给公共卫生带来巨大负担<sup>[48-49]</sup>。目前许多研究发现功能性踝关节不稳可能与本体感觉功能的缺陷有关,使踝关节处于长期不稳定的状态<sup>[50]</sup>。文章系统回顾了功能性踝关节不稳患者在运动觉、关节位置觉、力觉方面的本体感觉特征,共纳入26项观察性研究<sup>[12-13, 24-47]</sup>,质量评价均为中至高质量文献,通过Meta分析发现功能性踝关节不稳患者的运动觉、关节位置觉、力觉均存在一定程度的缺陷,并且发现在不同的运动方向表现出的缺陷程度有所不同。

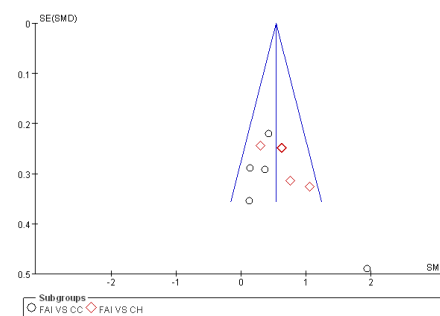
运动觉是指感知身体运动方向与大小的能力。该研究的Meta分析结果显示,



图注: 单侧功能性踝关节不稳 (FAI) 患者与健康人群 (CH) 相比, 存在内翻与外翻的力觉缺陷。图中重复的文献是由于再现力矩的大小与对照组别的不同所致, Docherty 2008(a), (b), (c) 中的再现力矩大小分别为最大随意等长收缩力的 10%, 20%, 30%, Arnold 2006 (a), (b) 中的再现力矩大小分别为最大随意等长收缩力的 10%, 30%, Sousa 2017(a), (b) 中的再现角度分别为内翻 5°, 15°, Wright 2012(a), (b) 中的再现力矩大小分别为最大随意等长收缩力的 10%、30%

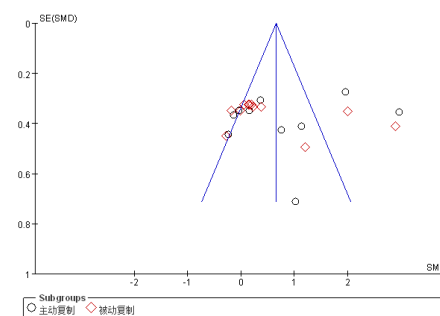
图9 | 两组内翻与外翻力觉差异的 Meta 分析森林图

Figure 9 | Forest plot regarding the meta-analysis of inversion and eversion force sense in both groups



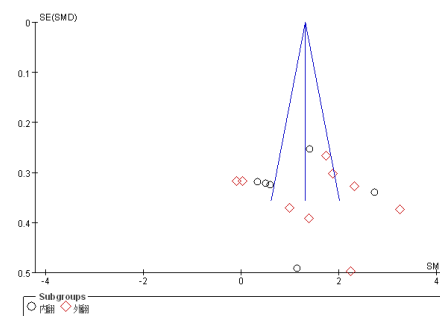
图注: 漏斗图不对称, 存在发表偏倚

图10 | 内翻运动觉指标的发表偏倚漏斗图  
Figure 10 | Funnel plot of publication bias of inversion kinesthesia sense



图注: 漏斗图不对称, 存在发表偏倚

图11 | 内翻关节位置觉指标的发表偏倚漏斗图 (与健康人群比较)  
Figure 11 | Funnel plot of publication bias of inversion joint position sense (comparison with the healthy individuals)



图注: 漏斗图不对称, 存在发表偏倚

图12 | 冠状面运动的力觉指标的发表偏倚漏斗图 (与健康人群比较)  
Figure 12 | Force sense funnel plot of coronal plane (comparison with the healthy individuals)

单侧功能性踝关节不稳患者存在中等效应的内翻运动觉缺陷,这与之前的研究结果一致<sup>[18]</sup>。有研究显示单侧功能性踝关节不稳患者的对侧肢体与健康人群之间存在运动觉差异<sup>[43]</sup>,因此将对侧肢体和健康人群分别作为对照组进行亚组分析,结果显示与对侧肢体相比表现出更小的缺陷,这可能说明单侧功能性踝关节不稳的对侧肢体发生了适应性改变,使双侧肢体的运动觉趋于一致。SOUSA等<sup>[43]</sup>通过回顾性队列研究发现单侧功能性踝关节不稳患者的对侧肢体相比于健康人群存在显著的内翻运动觉缺陷,有研究认为当外侧踝关节扭伤后脊髓水平或脊髓上水平可能会发生改变,而这些中枢介导的机制可能会导致双侧的本体感觉缺陷<sup>[51-52]</sup>。

关节位置觉是感知自身所处相对位置的一种本体感觉,被认为是自我意识的一个基本方面<sup>[53]</sup>,当一个人走在不平坦的道路上时,关节位置觉可以帮助人们在每次触地前将关节移动到更合适的位置<sup>[54]</sup>。该研究对踝关节内翻、外翻、跖屈、背屈4个方向的关节位置觉进行Meta分析,有研究认为主动与被动再现的方法代表了不同机制下的关节位置觉<sup>[55-57]</sup>,因此对不同方向的关节位置觉均进行了主动与被动再现的亚组分析。结果显示,在内翻方向,单侧功能性踝关节不稳患者与对侧相比存在强效应的内翻关节位置觉缺陷,与健康人群相比存在中等效应的内翻关节位置觉缺陷,以主动和被动内翻复制进行亚组分析也显示出中等至强效应的内翻关节位置觉缺陷。虽然该Meta分析未发现主动与被动内翻复制之间的差异,但仍需考虑到主动与被动复制对于关节位置觉测试结果的潜在影响。

在外翻方向,Meta分析结果显示单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群相比不存在关节位置觉缺陷,然而以主动和被动外翻复制进行亚组分析显示,单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群,以主动复制方式测试表现出较差的关节位置觉,然而以被动复制方式测试却表现出完全相反的结果。对于主动与被动复制两种测试方法,可能反映受试者的不同方面。NIESPODZIŃSKI等<sup>[55]</sup>测试了体操运动员与健康人群的主被动关节位置觉,结果发现在健康人群中被动复制的误差是主动复制的2倍。有趣的是,在体操运动员之间主动与被动复制却表现出相同的结果,他们认为这可能是由于体操运动员的肌梭敏感性 $\gamma$ 运动神经元的活性增强,从而克服了在被动运动期间肌肉的触变效应<sup>[56]</sup>。

然而ABDULKARIM等<sup>[57]</sup>认为是不同的中枢过程参与了对主动与被动位置觉的重新校准,当主动运动时,由中枢神经系统向下发出的 $\alpha$ 与 $\gamma$ 运动神经元分别支配梭外肌与肌梭<sup>[58]</sup>,另一部分形成传出副本发送至小脑<sup>[59]</sup>,根据过去的经验产生运动指令的预测信号,并将其与经过脊髓小脑通路传递的无意识本体感觉信息进行比较,当产生差异时,发出抑制信号作用于感觉传导通路,抑制由自身活动产生的信号,而被动运动仅产生无意识的本体感觉,不存在两种信息间的交汇与对比,因此可能导致测试结果的差异<sup>[54, 60]</sup>。这提示在进行关节运动觉的测试时,需要进行主动与被动复制两种测试以反映在不同条件下对关节位置的感知程度,对于哪种方法能够真实地反映出关节位置觉的特征还有待进一步的研究。

由于功能性踝关节不稳大多是外侧踝关节扭伤后导致的,因此目前对于单侧功能性踝关节不稳患者的研究多在内翻与外翻方向开展,只有少数研究测试了在跖屈、背屈方向的关节位置觉,虽然KIM等<sup>[12, 40]</sup>对单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群在跖屈与背屈方向的关节位置觉比较后发现存在明显的缺陷,但是通过Meta分析结果发现单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群相比未表现出明显的差异。

力觉是感知肌肉收缩力并能够再现力量输出的能力<sup>[12]</sup>,它通过检测施加到关节的外力以及计划与实际产生力矩之间的差异对运动控制系统进行校正,如果存在力觉缺陷将不能产生准确的力矩来抵消与控制外来的力矩,这将导致机体处于不稳定的状态。该研究对冠状面运动的力觉进行Meta分析,结果显示,单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群存在冠状面运动的力觉缺陷。将内翻与外翻方向进行亚组分析显示,单侧功能性踝关节不稳患者与健康人群相比均表现出较差的力觉缺陷,并且在外翻方向方面尤为明显,这可能与功能性踝关节不稳的损伤机制相关,过度的踝关节内翻使外翻肌群受到过度拉伸,导致肌肉内的本体感受器受到损伤并影响外翻肌群的神经肌肉控制。有研究通过对比功能性踝关节不稳组与健康组在高台落地过程中的生物力学特征,发现在落地前期、落地瞬间与下蹲阶段单侧功能性踝关节不稳组的腓骨长肌的激活程度均显著低于健康组<sup>[61]</sup>。XUE等<sup>[19]</sup>的Meta分析结果也显示单侧功能性踝关节不稳患者相比于健康人群存在外翻力觉缺陷,作

者认为这是由于外翻肌群的功能紊乱以及长期的异常本体感觉信息传入导致中枢神经系统形成适应性的可塑机制与本体感觉缺陷。目前对于功能性踝关节不稳的力觉研究还较少,并且对于再现力矩大小的选择目前尚无统一的定论,需要进一步开展高质量的随机对照实验来探究力矩的大小对于实际力觉的真实反映程度。

**3.2 文章的局限性** ①目前对单侧功能性踝关节不稳尚无统一的纳入标准,可能影响结果的准确性;②运动觉与力觉纳入的样本量相对较小,可能影响结果的稳定性;③不同研究对目标角度与目标力矩的选取大小不一致,可能导致研究结果存在偏倚;④纳入的文献为观察性研究,受研究设计所限,多种偏倚无法避免;⑤文章仅纳入中、英文文献,可能存在一定的选择性偏倚。

**3.3 对未来研究的启示** 目前对于功能性踝关节不稳的本体感觉测试方法多为最小运动检测阈值法、关节位置再现与力觉再现法,然而它们受测试有效性、生态学有效性的限制,其数据结果不能真实反映受试者的本体感觉特征,近年来有研究应用主动运动范围辨别评估来测试受试者的本体感觉。HAN等<sup>[62]</sup>对不同的本体感觉测试方法进行横向对比发现,主动运动范围辨别评估具有更好的测试有效性、数据有效性与生态学有效性,未来可以逐步推广主动运动范围辨别评估在实验室与临床中的应用,使本体感觉测试得出的结果更具真实性与有效性,推动对于本体感觉的认识,从而更加精准地改善功能性踝关节不稳患者的本体感觉缺陷。

**3.4 结论** 该Meta分析结果显示,单侧功能性踝关节不稳患者与对侧肢体相比存在内翻运动觉缺陷,与健康人群相比存在内翻运动觉、主被动内翻关节位置觉、主动外翻关节位置觉、内翻和外翻的力觉缺陷。文章细化了单侧功能性踝关节不稳患者在不同运动方向、不同测试方法下与不同对照组之间的本体感觉差异,为进一步探究功能性踝关节不稳的病理机制与制定针对性治疗方案提供了参考依据。

**作者贡献:** 文章设计及撰写论文者为吴一晗。资料收集者与数据分析者为吴一晗和魏乔叶。庞宇和刘中强负责审核。

**利益冲突:** 文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

**开放获取声明:** 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文



内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

**版权转让:** 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

**出版规范:** 文章撰写遵守了《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA 声明),部分内容遵循《观察性研究的荟萃分析报告规范》(MOOSE 声明)。出版前经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次文字和图表查重;经小同行外审专家双盲审稿,同行评议认为符合期刊发稿宗旨。

#### 4 参考文献 References

- [1] MIKLOVIC TM, DONOVAN L, PROTZUK OA, et al. Acute lateral ankle sprain to chronic ankle instability: a pathway of dysfunction. *Phys Sports Med.* 2018;46(1):116-122.
- [2] FREEMAN MA. Instability of the foot after injuries to the lateral ligament of the ankle. *J Bone Joint Surg Br.* 1965;47(4):669-677.
- [3] FREEMAN MA, DEAN MR, HANHAM IW. The etiology and prevention of functional instability of the foot. *J Bone Joint Surg Br.* 1965;47(4):678-685.
- [4] DOHERTY C, BLEAKLEY C, HERTEL J, et al. Recovery from a first-time lateral ankle sprain and the predictors of chronic ankle instability: a prospective cohort analysis. *Am J Sports Med.* 2016;44(4):995-1003.
- [5] DOHERTY C, DELAHUNT E, CAULFIELD B, et al. The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. *Sports Med.* 2014;44(1):123-140.
- [6] HERZOG MM, KERR ZY, MARSHALL SW, et al. Epidemiology of ankle sprains and chronic ankle instability. *J Athl Train.* 2019;54(6):603-610.
- [7] 张秋霞, 张林, 王国祥, 等. 功能性不稳踝关节位置觉和肌肉力觉特征 [J]. *中国运动医学杂志*, 2012,31(1):9-13
- [8] ROSS SE, LINENS SW, WRIGHT CJ, et al. Noise-enhanced eversion force sense in ankles with or without functional instability. *J Athl Train.* 2015;50(8):819-824.
- [9] LIM EC, TAN MH. Side-to-side difference in joint position sense and kinesthesia in unilateral functional ankle instability. *Foot Ankle Int.* 2009;30(10):1011-1017.
- [10] GOBLE DJ. Proprioceptive acuity assessment via joint position matching: from basic science to general practice. *Phys Ther.* 2010;90(8):1176-1184.
- [11] HAGEN M, LEMKE M, LAHNER M. Deficits in subtalar pronation and supination proprioception in subjects with chronic ankle instability. *Hum Mov Sci.* 2018;57:324-331.
- [12] KIM CY, CHOI JD, KIM HD. No correlation between joint position sense and force sense for measuring ankle proprioception in subjects with healthy and functional ankle instability. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2014;29(9):977-983.
- [13] BROWN C, ROSS S, MYNARK R, et al. Assessing functional ankle instability with joint position sense, time to stabilization, and electromyography. *J Sport Rehabil.* 2004;13(2):122-134.
- [14] CHO BK, PARK JK. Correlation between joint-position sense, peroneal strength, postural control, and functional performance ability in patients with chronic lateral ankle instability. *Foot Ankle Int.* 2019;40(8):961-968.
- [15] ALGHADIR AH, IQBAL ZA, IQBAL A, et al. Effect of chronic ankle sprain on pain, range of motion, proprioception, and balance among athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(15):5318.
- [16] OTZEL DM, HASS CJ, WIKSTROM EA, et al. Motoneuron function does not change following whole-body vibration in individuals with chronic ankle instability. *J Sport Rehabil.* 2019;28(6):614-622.
- [17] WITCHALLS J, WADDINGTON G, BLANCH P, et al. Ankle instability effects on joint position sense when stepping across the active movement extent discrimination apparatus. *J Athl Train.* 2012;47(6):627-634.
- [18] HILLER CE, NIGHTINGALE EJ, LIN CW, et al. Characteristics of people with recurrent ankle sprains: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2011;45(8):660-672.
- [19] XUE X, CHEN Z, XUAN W, et al. Force sense deficits in chronic ankle instability: a systematic review and meta-analysis. *PM R.* 2022. doi: 10.1002/pmrj.12833.
- [20] GRIBBLE PA, DELAHUNT E, BLEAKLEY CM, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium. *J Athl Train.* 2014;49(1):121-127.
- [21] WELLS G. The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for Assessing the Quality of Non-Randomised Studies in Meta-Analyses// Symposium on Systematic Reviews: Beyond the Basics. 2014.
- [22] ROSTOM A, DUBÉ C, CRANNEY A, et al. Celiac disease. *Evid Rep Technol Assess (Summ).* 2004;(104):1-6.
- [23] HIGGINS JP, THOMPSON SG. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Stat Med.* 2002;21(11):1539-1558.
- [24] JEROSCH J, HOFFSTETTER I, BORK H, et al. The influence of orthoses on the proprioception of the ankle joint. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1995;3(1):39-46.
- [25] LENTELL G, BAAS B, LOPEZ D, et al. The contributions of proprioceptive deficits, muscle function, and anatomic laxity to functional instability of the ankle. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1995;21(4):206-215.
- [26] HUBBARD TJ, KAMINSKI TW. Kinesthesia is not affected by functional ankle instability status. *J Athl Train.* 2002;37(4):481-486.
- [27] REFSHAUGE KM, KILBREATH SL, RAYMOND J. Deficits in detection of inversion and eversion movements among subjects with recurrent ankle sprains. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2003;33(4):166-176.
- [28] YOU SH, GRANATA KP, BUNKER LK. Effects of circumferential ankle pressure on ankle proprioception, stiffness, and postural stability: a preliminary investigation. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2004;34(8):449-460.
- [29] ARNOLD BL, DOCHERTY CL. Low-load eversion force sense, self-reported ankle instability, and frequency of giving way. *J Athl Train.* 2006;41(3):233-238.
- [30] SEKIR U, YILDIZ Y, HAZNECI B, et al. Effect of isokinetic training on strength, functionality and proprioception in athletes with functional ankle instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(5):654-664.
- [31] SANTOS MJ, LIU W. Possible factors related to functional ankle instability. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2008;38(3):150-157.
- [32] NAKASA T, FUKUHARA K, ADACHI N, et al. The deficit of joint position sense in the chronic unstable ankle as measured by inversion angle replication error. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008;128(5):445-449.
- [33] DOCHERTY CL, ARNOLD BL. Force sense deficits in functionally unstable ankles. *J Orthop Res.* 2008;26(11):1489-1493.
- [34] SEFTON JM, HICKS-LITTLE CA, HUBBARD TJ, et al. Sensorimotor function as a predictor of chronic ankle instability. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2009;24(5):451-458.

- [35] SEFTON JM, YARAR C, HICKS-LITTLE CA, et al. Six weeks of balance training improves sensorimotor function in individuals with chronic ankle instability. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011;41(2):81-89.
- [36] WRIGHT CJ, ARNOLD BL. Fatigue's effect on eversion force sense in individuals with and without functional ankle instability. *J Sport Rehabil.* 2012;21(2):127-136.
- [37] STEIB S, HENTSCHE C, WELSCH G, et al. Effects of fatiguing treadmill running on sensorimotor control in athletes with and without functional ankle instability. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2013;28(7):790-795.
- [38] SIMON J, GARCIA W, DOCHERTY CL. The effect of kinesio tape on force sense in people with functional ankle instability. *Clin J Sport Med.* 2014;24(4):289-294.
- [39] HANCI E, SEKIR U, GUR H, et al. Eccentric training improves ankle evertor and dorsiflexor strength and proprioception in functionally unstable ankles. *Am J Phys Med Rehabil.* 2016;95(6):448-458.
- [40] KIM CY, CHOI JD. Comparison between ankle proprioception measurements and postural sway test for evaluating ankle instability in subjects with functional ankle instability. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2016;29(1):97-107.
- [41] LIN CH, CHIANG SL, LU LH, et al. Validity of an ankle joint motion and position sense measurement system and its application in healthy subjects and patients with ankle sprain. *Comput Methods Programs Biomed.* 2016;131:89-96.
- [42] 梁炳寅, 李坤, 王予彬, 等. 本体感觉功能与慢性踝关节不稳相关性的初步研究 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2016, 38(11):850-852.
- [43] SOUSA ASP, LEITE J, COSTA B, et al. Bilateral proprioceptive evaluation in individuals with unilateral chronic ankle instability. *J Athl Train.* 2017;52(4):360-367.
- [44] MARINHO HVR, AMARAL GM, DE SOUZA MOREIRA B, et al. Influence of passive joint stiffness on proprioceptive acuity in individuals with functional instability of the ankle. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2017;47(12):899-905.
- [45] NANBANCHA A, TRETRILUXANA J, LIMROONGREUNGRAT W, et al. Decreased supraspinal control and neuromuscular function controlling the ankle joint in athletes with chronic ankle instability. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119(9):2041-2052.
- [46] CHANG YS, AREFIN MS, YOU YL, et al. Effect of novel remodeled bicycle pedal training on balance performance in athletes with functional ankle instability. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020;8:600187.
- [47] 付光亮, 孟庆华, 鲍春雨. 功能性踝关节不稳者本体感觉力学差异及平衡训练干预效果 [J]. *应用力学学报*, 2021,38(6):2426-2431.
- [48] GRIBBLE PA, BLEAKLEY CM, CAULFIELD BM, et al. Evidence review for the 2016 International Ankle Consortium consensus statement on the prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains. *Br J Sports Med.* 2016;50(24):1496-1505.
- [49] DELAHUNT E, REMUS A. Risk factors for lateral ankle sprains and chronic ankle instability. *J Athl Train.* 2019;54(6):611-616.
- [50] ALGHADIR AH, IQBAL ZA, IQBAL A, et al. Effect of chronic ankle sprain on pain, range of motion, proprioception, and balance among athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(15):5318.
- [51] EVANS T, HERTEL J, SEBASTIANELLI W. Bilateral deficits in postural control following lateral ankle sprain. *Foot Ankle Int.* 2004;25(11):833-839.
- [52] HERTEL J, BUCKLEY WE, DENEGAR CR. Serial testing of postural control after acute lateral ankle sprain. *J Athl Train.* 2001;36(4):363-368.
- [53] PROSKE U, CHEN B. Two senses of human limb position: methods of measurement and roles in proprioception. *Exp Brain Res.* 2021;239(11):3157-3174.
- [54] PROSKE U, GANDEVIA SC. The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiol Rev.* 2012;92(4):1651-1697.
- [55] NIESPODZIŃSKI B, KOCHANOWICZ A, MIESZKOWSKI J, et al. Relationship between joint position sense, force sense, and muscle strength and the impact of gymnastic training on proprioception. *Biomed Res Int.* 2018;2018:5353242.
- [56] LAKIE M, CAMPBELL KS. Muscle thixotropy-where are we now? *J Appl Physiol* (1985). 2019;126(6):1790-1799.
- [57] ABDULKARIM Z, EHRSSON HH. Recalibration of hand position sense during unconscious active and passive movement. *Exp Brain Res.* 2018;236(2):551-561.
- [58] KRÖGER S. Proprioception 2.0: novel functions for muscle spindles. *Curr Opin Neurol.* 2018;31(5):592-598.
- [59] ASHTON-MILLER JA, WOJTYŚ EM, HUSTON LJ, et al. Can proprioception really be improved by exercises? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2001;9(3):128-136.
- [60] PROSKE U, GANDEVIA SC. Kinesthetic Senses. *Compr Physiol.* 2018;8(3):1157-1183.
- [61] 张帆, 蒋琴华, 林榕, 等. 视觉认知任务介入时踝关节稳定程度对纵跳落地模式影响的研究 [J]. *成都体育学院学报*, 2020, 46(1):78-85.
- [62] HAN J, WADDINGTON G, ADAMS R, et al. Assessing proprioception: a critical review of methods. *J Sport Health Sci.* 2016;5(1):80-90.

(责任编辑: WJ, ZN, ZH)