

## 申请学术型硕士研究生指导教师佐证材料

申请人姓名： 张剑梅

一级学科名称： 临床医学

二级学科名称： 运动医学

工作单位： 应急总医院

2026年4月

# 目 录

## 学历、资历

一、毕业证书复印件.....	1
二、学位证书复印件.....	2
三、现专业技术职务任职资格证书复印件.....	3

## 论文、著作

一、论文复印件	
1、血流向量成像技术评价优秀女子冰球运动员左心室血流动力学特征研究，《体育科学》，2023年10期，第一作者（北大核心）.....	4
2、壁面剪切应力评价优秀女子冰球运动员左心室节段性血流动力学特征，《体育科学》，2024年5期，通讯作者（北大核心）.....	17
二、著作类复印件	
《呵护你的小心脏》，人民体育出版社，2023.11，主编.....	33

## 科研课题

科研立项、科研成果鉴定复印件，效益证明原件	
1、首都卫生发展科研专项项目任务书原件.....	37
2、首都卫生发展科研专项合作协议书原件.....	45
3、儿童肥胖防控运动干预任务书原件.....	50
4、儿童肥胖防控运动干预合同复印件.....	64

硕士研究生

# 毕业证书



研究生

**张剑梅**

性别

女

1975 年

7 月

29 日

生

于

二〇〇六年九月至二〇〇九年六月在

内科学

专业学习，学制三年，修完硕士研究生培养计划规定的全部课程，成绩合格，  
毕业论文答辩通过，准予毕业。

培养单位：

华北煤炭医学院

校(院、所)长：

证书编号：

二〇〇九年六月三十日

# 硕士学位证书

张剑梅，女，1975年7月29日生。在华北煤炭医学院

内科学  
学科（专业）已通过硕士学位的课程

考试和论文答辩，成绩合格。根据《中华人民共和国学位条例》的规定，授予医学硕士学位。

华北煤炭医学院

学位评定委员会主席

袁聚祥

证书编号

0009年六月三十日



姓 名 张剑梅

性 别 女

Sex 出生年月 1975年7月

Date of Birth



职 称 主任医师

Professional Title

批准时间 2020年12月9日

Approval Date

证书编号 [REDACTED]

No.



Issued by

2021年二月二十日



www.cisszjty.com  
bjb@css.cn



中国体育科学学会主办

ISSN 1000-677X  
CN 11-1295/G8

# 体育科学

CHINA SPORT SCIENCE

国家社科基金资助期刊  
中文体育类核心期刊  
中国人文社会科学期刊  
AMI综合评价(A刊)权威期刊  
CSSCI来源期刊

2023年10月(第43卷)

10



体育科学(月刊)

2023年(第43卷)第10期

1981年创刊

CHINA SPORT SCIENCE

Vol. 43, No.10, October, 2023

Founded in 1981

主管: 国家体育总局

主办: 中国体育科学学会

编辑出版: 国家体育总局体育科学研究所  
《体育科学》编辑部

印刷: 北京富泰印刷有限责任公司

国内发行: 北京市报刊发行局

国内订阅: 全国各邮政局

国外发行: 中国国际图书贸易集团有限公司  
国外发行代号: BM708

地址: 北京市东城区体育馆路11号

邮政编码: 100061

电话: 010-87182590 87182589

网址: [www.cisszgtj.com](http://www.cisszgtj.com)

邮箱: [bjb@ciss.cn](mailto:bjb@ciss.cn)

Administrated by General Administration of Sport of China

Sponsored by China Sport Science Society

Edited by the Editorial Department of CHINA SPORT SCIENCE  
of the China Institute of Sport Science

Domestic Distribution: Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals

Oversea Distribution: China International Book Trading Corporation,  
Beijing 100044, China, BM708

Address: 11 Tryuguan Road, Dongcheng District, Beijing, P.R.China

ZIP Code: 100061

Tel: 8610-87182590 87182589

<http://www.cisszgtj.com>

E-mail: [bjb@ciss.cn](mailto:bjb@ciss.cn)

ISSN 1000-677X

CN 11-1295/G8

邮发代号: 2-436

期刊出版许可证 京期出证字第0165号

国内定价: 每册25元 全年300元 每月15日出版

ISSN 1000-677X





## CONTENTS

QI Dalu, HUANG Hansheng <sup>*</sup> Quantitative Identification and Evolutionary Trend Analysis of Related Disciplines of Sports Science in China in the New Era from the Perspective of Knowledge Flow	3
YANG Jingzhong, QIU Jun <sup>*</sup> , FENG Xiaolu, LIU Jiaqi Study on Intergovernmental Collaborative Relations in the Fusion of Sports and Medicine in China —A Quantitative Analysis of Policy Texts from 2012 to 2022	14
LUO Chaozhong, ZHANG Desheng <sup>*</sup> Logical Construction of Triple Interaction in Age-Friendly Digital Sports —A Study on the Practices of Elderly Participants from the Affordance Perspective	26
DING Yunxia, HUANG Xifa <sup>*</sup> Conceptual Model Building of Urban Sports Competitiveness Evaluation	34
SHEN Xiaoxiang A Study on the Coordinated Development Level of Technological Innovation in Sporting Goods Manufacturing Industry from the Perspective of Innovation Value Chain	45
XU Weikang Quantitative Regulation: Legal Protection of Athletes Biometric Data	53
ZHANG Jianmei, BAI Melying, ZHANG Ruiping, YANG Ping, FAN Yudong <sup>*</sup> Evaluation of Left Ventricular Eddy Current in Elite Female Ice Hockey Players by Using Vector Flow Mapping	66
LOU Hu, FANG Lidong, JIANG Qingxia, WANG Ruonan How Physical Exercise Alleviates Psychosocial Stress —The Integration of Cross Stress Adaptation and Antagonistic Stress Inhibition	73
CHEN Jinru, WAN Xiaohong <sup>*</sup> An Examination of the Discursive Practice of "Glocalization" in the International Sports Communication on China's Mainstream Media	82
YU Siyuan, GU Shuai, LIU Guihai A Theoretical Exploration and Practical Application of China's Sports Diplomacy from the Perspective of International Political Psychology	90

# 体育科学

(月刊)

## TIYU KEXUE

国家体育总局 主管  
中国体育科学学会 主办

2023年(第43卷)第10期  
(2023年10月15日出版)

### 目次

#### 研究报告

- 知识流动视角下新时代中国体育学亲缘学科的定量识别与  
演化趋势分析 ..... 齐大路, 黄汉升\* (3)
- 我国体医融合府际协同关系研究  
——基于2012—2022年政策文本量化  
分析 ..... 杨京仲, 仇 军\*, 冯晓露, 刘嘉琪 (14)
- 适老化数字体育中三重互动关系的逻辑建构  
——基于可供性视角下老年行动者实践行为  
研究 ..... 罗朝中, 张德胜\* (26)
- 城市体育竞争力评价概念模型构建研究 ..... 丁云霞, 黄希发\* (34)
- 基于创新价值链视角的体育用品制造业技术创新  
协调发展水平研究 ..... 沈潇湘 (45)
- 量化的规训: 运动员生物统计数据法律保护 ..... 徐伟康 (53)
- 血流向量成像技术评价优秀女子冰球运动员左心室血流动力学  
特征研究 ..... 张剑梅, 白美英, 张瑞平,  
杨 萍, 范焯东\* (66)

## 综述与进展

体育运动何以缓解心理社会压力

——交叉适应假说与拮抗抑制假说的整合……………晏 虎, 房立栋, 蒋青霞,

王若楠 (73)

## 争鸣与探索

我国主流媒体体育国际传播的“本土化”话语实践考察……………陈瑾如, 万晓红\* (82)

国际政治心理学视域下我国体育对外交往的理论探索与

实践应用……………于思远, 顾 帅, 刘桂海 (90)

## 本刊声明

本刊不以任何形式收取版面费, 全国社科工作办举报电话: 010-63098272。

《体育科学》编辑部

期刊基本参数: CN11-1295/G8 · 1981 · m · 16 · 96 · zh · P · ¥ 25.00 · 4700 · 10 · 2023-10

### 主编: EDITOR-IN-CHIEF

曹景伟 *CAO Jingwei*

### 副主编: ASSOCIATE EDITORS

张 剑 *ZHANG Jian*

陈佩杰 *CHEN Peijie*

冯连世 *FENG Lianshi*

### 编委: EDITORIAL BOARD

(按姓氏笔画为序)

马宏俊 *MA Hongjun*

王 进 *WANG Jin*

毛德伟 *MAO Dewei*

白晋湘 *BAI Jinxiang*

丛湖平 *CONG Huping*

吕万刚 *LYU Wangang*

朱志强 *ZHU Zhiqiang*

任 海 *REN Hai*

刘 兴 *LIU Xing*

刘 宇 *LIU Yu*

刘 青 *LIU Qing*

刘大庆 *LIU Daqing*

江崇民 *JIANG Chongmin*

李国平 *LI Guoping*

杨国庆 *YANG Guoqing*

何子红 *HE Zihong*

张力为 *ZHANG Liwei*

张忠秋 *ZHANG Zhongqiu*

张瑞林 *ZHANG Ruiping*

陈小平 *CHEN Xiaoping*

易剑东 *YI Jiandong*

季 浏 *Ji Liu*

季林红 *Ji Linhong*

赵富学 *ZHAO Fuxue*

钟秉枢 *ZHONG Bingshu*

谢敬豪 *XIE Minhao*

鲍明晓 *BAO Mingxiao*

### 外籍编委:

### FOREIGN EDITORIAL BOARD

巴里·布劳恩 *Barry Braun*

卡尔·福斯特 *Carl Foster*

刘 展 *Zhan Liu*

编辑部主任: 邱剑荣

责任编辑: 高天艾

编 辑: 李晴慧

张 雷

丁 合

马 靖

金乃靖

中文校对: 马丽萍

英文审校: 李 良

赫 亮



## 血流向量成像技术评价优秀女子冰球运动员左心室血流动力学特征研究

张剑梅<sup>1</sup>, 白美英<sup>2</sup>, 张瑞平<sup>1</sup>, 杨萍<sup>3</sup>, 范煜东<sup>4\*</sup>

(1. 国家体育总局运动医学研究所 运动医务监督研究中心, 北京 100061;

2. 吉林省体育系统运动创伤医院 康复科, 吉林 长春 130022;

3. 成都体育学院 体育学博士后流动站, 四川 成都 610041;

4. 北京应急总医院 心血管内科, 北京 100028)

**摘要:**目的:探讨经长期高强度训练的优秀女子冰球运动员心脏左心室内舒张期涡流变化。方法:对19例优秀青年女子冰球运动员(运动员组)及19例健康青年女性(对照组)进行常规经胸超声心动图检查,应用血流向量成像技术(vector flow mapping, VFM)在心尖三腔心视图下观察舒张早期(V1)、舒张晚期(V2)内涡流旋转方向、位置、相对持续时间和相对大小。结果:1)常规超声心动图参数:运动员组与对照组相对室壁厚度(relative wall thickness, RWT)、左心室后壁舒张末期厚度(posterior wall thickness in diastole, PWTd)、左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、左心室缩短分数(left ventricular fractional shortening, LVFS)、二尖瓣舒张晚期血流峰值速度(A)均无统计学差异( $P>0.05$ );与对照组相比,运动员组室间隔舒张末期厚度、左心室质量、左心室质量指数、左心室舒张末期内径、左心室舒张末期容积、左心室收缩末期容积、舒张早期(E)、E/A(E/A比值)、每搏输出量、心输出量等测量值均增大,差值有统计学意义( $P<0.05$ );经体表面积标准化后,两组的左心室舒张末期容积和搏出量仍具有统计学意义( $P<0.05$ )。2)VFM参数:运动员组和对照组V1、V2时期内涡流位置、方向、相对大小均无显著性差异( $P>0.05$ ),但两组V1、V2涡流相对持续时间有显著性差异( $P<0.05$ );3)相关性分析:运动员组V2-涡流相对大小与V1-涡流相对大小、左心室舒张末期内径、左心室舒张末期容积、搏出量呈正相关性( $P<0.05$ )。结论:1)参加长期高强度训练的优秀女子冰球运动员的心脏结构表现出正常的运动适应性改变,收缩和舒张功能良好;2)优秀女子冰球运动员左心室舒张期涡流持续时间延长,使多向的血流融合而不产生过多的能量损耗,保证左心室容积在充盈压不显著增加的情况下增大,有利于腔室顺应性,有助于运动员比赛期间在平均做功心率 $>90\%HR_{max}$ 的情况下能够充分确保回心血量,提升高强度运动时心肌射血能力,最大程度满足运动时机体的能量需求。

**关键词:**血流向量成像;冰球运动员;涡流;心脏功能

中图分类号:G804.5

文献标识码:A

冰球是一项快速滑行与高对抗性相结合的竞技类运动,需要运动员具备良好的有氧耐力和无氧能力,这就要求运动员的心脏能够承受更大的容量负荷和压力负荷,以满足机体最大的耗氧和耗能(Douglas et al., 2019; Montgomery, 1988; Spiering et al., 2003)。因此,长期的高强度训练会导致心脏重塑,出现心脏结构、功能和电生理改变(Yang et al., 2023)。既往研究表明,冰球运动员左心室(left ventricular, LV)舒张末期容积在训练早期显著增加,而射血分数没有显著改变,表明冰球运动员心脏适应性是结构性的而非功能性的(高璨等, 2020, 1980; 莫轶等, 2018; Paterick et al., 2014)。但仅依据这些参数并不能全面评价运动员的心脏功能,因此,近年来,有研

究指出,联合左心室内血流动力学的变化进行综合分析可以更为准确、客观、全面地评价心脏功能,左心室内血流动力学与心脏功能之间的必然联系,可能为阐释运动性心脏功能改变的机制提供关键理论基础(刘蕊等, 2012; 时嘉欣, 2014; Bernejo et al., 2014; Martínez-Legazpi et al., 2014)。血流向量成像(vector flow mapping, VFM)

收稿日期:2023-07-23; 修订日期:2023-09-29

基金项目:科技部国家重点研发计划“主动健康和老龄化科技应对”重点专项(2022YFC2010200)。

第一作者简介:张剑梅(1975-),女,主任医师,硕士,主要研究方向为运动员心肺机能评定, E-mail: zjm13071156806@163.com。

\*通信作者简介:范煜东(1972-),男,副主任医师,硕士,主要研究方向为心血管疾病的诊断与治疗, E-mail: fanjudongy@sina.com.cn。

技术能够可视化评估胸腔中复杂的流体效应,特别是胸腔内涡流的变化,可以为评估和监测心功能提供可靠的参考(程冠等,2021;张瑜等,2015;Rodriguez Muñoz et al., 2015)。因此,本研究利用VFM技术对比高水平女子冰球运动员和普通健康女性左心室舒张期涡流参数,分析讨论优秀冰球运动员特有的心脏结构和功能表现,以期为运动训练过程中的心脏功能监控、科学制定训练方案以及科学选材提供有效参考。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

本研究运动员组为19名备战2022年冬季奥运会的优秀女子冰球运动员,训练年限 $\geq 5$ 年,运动等级为一级运动员及以上,近半年每周训练时间 $\geq 24$  h。招募19名无规律运动习惯的普通健康女性作为对照组,纳入标准为每周进行规律运动的时间 $< 3$  h。排除标准为患有高血压、器质性心脏病或者有药物、吸烟、饮酒史等。两组受试者在年龄、身高、体重方面无显著性差异(表1)。本研究经国家体育总局运动医学研究所伦理委员会(2021-15)批准,并获得所有参与者的书面知情同意,在运动员医务监督和健康体检期间自愿参加2021年4月至2022年1月的心脏机能评估研究,研究流程符合赫尔辛基宣言。

表1 运动员组和对照组受试者基本情况

参数	M $\pm$ SD		P
	运动员(n=19)	对照组(n=19)	
年龄/岁	25.16 $\pm$ 3.70	24.26 $\pm$ 2.16	0.370
体重/kg	64.13 $\pm$ 5.54	60.21 $\pm$ 7.32	0.071
身高/m	1.68 $\pm$ 0.34	1.66 $\pm$ 0.49	0.135
BMI/(kg/m <sup>2</sup> )	22.81 $\pm$ 1.75	21.96 $\pm$ 2.37	0.217

注: BMI, 身体质量指数(body mass index)。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 基本资料收集

测量并记录安静状态下所有受试者的身高、体重、体表面积(body surface area, BSA)、BMI、舒张压(diastolic blood pressure, DBP)、收缩压(systolic blood pressure, SBP)及心率(heart rate, HR)等参数。

#### 1.2.2 超声心动图检查

采用日本东芝阿洛卡(Aloka Iesendo 880)超声系统(Hitachi Aloka Medical Ltd., 日本), 配备超宽频相控阵S121探头, 该设备内部配有VFM分析软件。所有受试者的超声心动图检查均在晨起空腹进行, 由一名经验丰富的医生操作。运动员组数据的采集在集中训练期的常规医务监督期间的休息日(训练后24 h之内)进行, 对照组的数据采集在常规健康体检时完成。

#### 1.2.2.1 常规超声检查

所有受试者接受全面的二维静息超声心动图检查。受检者左侧卧位, 平静呼吸, 同步三导联心电图: 1)应用M型超声检查测量左心室舒张末期内径(left ventricular end-diastolic dimension, LVEDD)、左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、室间隔舒张末期厚度(interventricular septal thickness in diastole, IVSd)、左心室后壁舒张末期厚度(posterior wall thickness in diastole, PWTd)、左心室舒张末期容积(left ventricular end-diastolic volume, LVEDV)、左心室缩短分数(left ventricular fractional shortening, LVFS)、左心室收缩末期容积(left ventricular end-systolic volume, LVESV)、每搏输出量(stroke volume, SV)、心输出量(cardiac output, CO); 2)计算左心室质量(left ventricular mass, LVM)、左心室质量指数(left ventricular mass index, LVMI)、相对室壁厚度(relative wall thickness, RWT); 3)应用脉冲多普勒超声检查测量二尖瓣口舒张早期(peak early diastolic transmitral flow velocity, E峰)、晚期(peak late diastolic transmitral flow velocity, A峰)跨瓣血流速度峰值, 计算E/A比值。

#### 1.2.2.2 VFM

采集2个心动周期的LV心尖三腔心的彩色多普勒图像, 使用5~8 MHz彩色流动图像在线分析。1)先选择1个心动周期进行分析, 确定2个连续的QRS波群作为起点和终点。在A3C视图下, 在二尖瓣下2 cm处划一条取样线, 得到一个心动周期的时间-流量曲线(图1), 确定RR间期。2)再结合心电图、瓣膜开闭选择左心室舒张早期(V1, 二尖瓣打开到心房收缩之前)和舒张晚期(V2, 心房收缩开始到二尖瓣关闭)确定舒张期的时相所在帧数。在等容舒张期手动描记LV内膜边界, 软件自动追踪其余时相下的内膜边界, 同时跟踪LV内的所有涡流, 手动导出V1、V2时相下持续存在的最大稳定涡流。在二维平面上观察到的循环量的正负值代表涡流方向, 即负值为顺时针方向, 正值为逆时针方向。3)将LV感兴趣区(region of interest, ROI)分为4个象限: 在LV心尖三腔心平面上, 从心尖的中心到二尖瓣和主动脉瓣交界处的纵向直线将ROI分为左右两部分, 垂直于第一条纵向直线的中点的水平线将ROI分为上下两部分。4)将所得到的4个象限分别定义为基底前段(AB)、基底后段(PB)、心尖前段(AA)和心尖后段(PA)(Rodriguez Muñoz et al., 2015), 以方便记录最大稳定涡流所在位置(图2)。

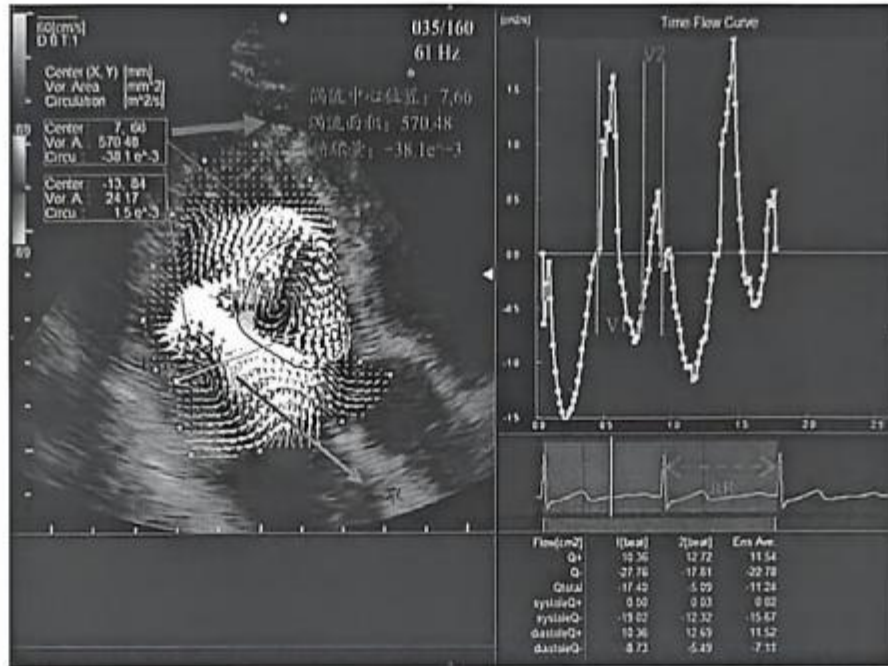
本研究纳入的最大稳定涡流的主要参数为: 1)相对持续时间/%, V1、V2时相中分别持续存在的稳定涡流的第一帧到最后一帧为该涡流存在的持续时间, 为了消除涡流持续时间对心率的依赖性, 将“涡流持续时间/RR”的比率作为相对持续时间进行分析; 2)相对大小/%, 逐帧选择每个时相中连续存在的稳定涡流的最大面积, 为了消

除涡流面积对 LV 面积的依赖性,与 LV 面积的比率(涡流最大面积/LV 面积)作为相对大小进行分析。

### 1.2.3 统计学方法

所有连续变量均以均数±标准差(M±SD)表示。采用 Shapiro-Wilk 检验分析所有连续变量的正态分布情况(P>0.05 为正态分布);运动员组和对照组数据的比较,

根据数据类型分别采用独立样本 t 检验(正态分布、方差齐),t' 检验(正态分布、方差不齐)和 Mann-Whitney U 检验(非正态分布);符合双变量正态分布的数据采用 Pearson 相关分析,否则采用 Spearman 相关分析评估各参数之间的相关性。P<0.05 认为差异有统计学意义。



注:V1 为舒张早期,二尖瓣打开到心房收缩之前;V2 为舒张晚期,心房收缩开始到二尖瓣关闭;VFM 软件中以向量图方式显示血流分布特点,箭头表示流动方向和强度;LA 为左心房(left atrial),LOVT 为 LV 流出道,RR 为一个心动周期。

图 1 时间-流量曲线示意  
Figure 1. Time-Flow Curves

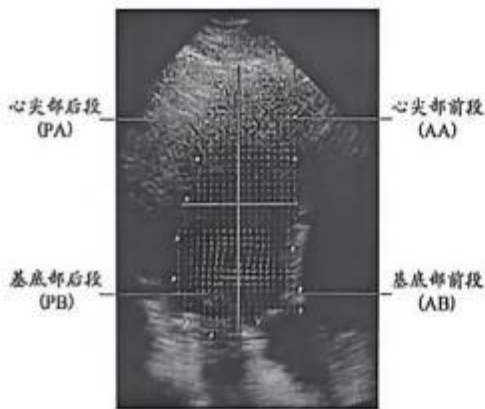


图 2 左心室的 4 个象限示意  
Figure 2. Four Quadrants of the Left Ventricle

## 2 结果

### 2.1 基础指标比较

两组受试者的 BMI 和 SBP 比较无统计学意义(P>0.05);与对照组相比,运动员组的 BSA 增加,HR、DBP 降低,差异均有统计学意义(P<0.05)(表 2)。

### 2.2 常规超声心动图参数比较

与对照组相比,运动员组受试者的 IVSd、LVM、LVMI、LVEDD、LVEDV、LVESV、E、E/A、SV、CO 等均增大,差异均有统计学意义(P<0.05);PWTd、RWT、LVEF、LVFS、A 等无明显统计学差异(P>0.05);经 BSA 校正后,两组的 LVEDV 和 SV 仍有统计学意义(P=0.02, P=0.03)(表 3)。如图 3 所示,运动员组大部分受试者左心室几何结构在正常范围内,有 3 名运动员心脏表现呈离心性肥厚(LVMI 增加,RWT 正常,即超出红色垂直线条区域)。

### 2.3 左心室内涡流行为比较

涡流是一种围绕虚拟中心轴做圆周运动或旋转运动的流体结构。本研究关注的是心脏舒张早期(V1)和舒张晚期(V2)在左心室基底前段(AB)二尖瓣前叶下方出现的顺时针涡流,它在心动周期中持续时间较长,有助于优化心脏做功,而在左心室基底后段(PB)二尖瓣后叶处的逆时针涡流则呈现出快速消散和低强度的特征(图 4)。运动员组和对照组受试者在 V1、V2 出现的涡流的方向、位置、相对大小无统计学差异(P>0.05);涡流相

对持续时间的差异有明显统计学意义( $P < 0.05$ )(表4)。

#### 2.4 左心室涡流参数与常规超声参数、基础指标的相关性分析

对运动员组受试者的参数进行双变量相关分析发现,

V2-涡流相对大小与LVEDD、LVEDV和SV呈正相关( $P < 0.05$ ), 而对照组受试者的涡流相对大小和持续时间与LVEDD、LVEDV和SV无显著相关性( $P > 0.05$ )(表5)。

表2 运动员组和对照组受试者基础指标比较

参数	运动员组(n=19)	对照组(n=19)	P	统计学方法
HR/(次/分)	66.68±6.58	73.88±11.34	0.022	t检验
BMI/(kg/m <sup>2</sup> )	22.81±1.75	21.96±2.37	0.217	Mann-Whitney U检验
BSA/m <sup>2</sup>	1.81±0.08	1.67±0.97	<0.001	t检验
SBP/mmHg	112.68±9.14	111.84±5.41	0.732	t检验
DBP/mmHg	66.79±7.39	75.58±7.26	0.001	t检验

表3 运动员组与对照组常规超声心动图参数比较

参数	运动员组(n=19)	对照组(n=19)	P	统计学方法
RWT	0.37±0.48	0.37±0.45	0.795	Mann-Whitney U检验
LVM/g	152.42±27.79	117.84±22.26	<0.001	Mann-Whitney U检验
LVM1/(g/m <sup>2</sup> )	84.45±15.45	70.24±11.26	0.003	t检验
IVSd/mm	9.22±0.97	8.17±0.87	0.001	t检验
PWTd/mm	8.76±0.79	8.49±0.92	0.342	t检验
LVEDD/mm	48.71±2.77	44.41±2.55	<0.001	Mann-Whitney U检验
LVEDV/mL	111.63±15.02	89.21±11.36	<0.001	Mann-Whitney U检验
LVESV/mL	34.89±7.50	27.63±8.43	0.008	Mann-Whitney U检验
SV/mL	76.74±9.45	61.58±8.57	<0.001	t检验
CO/L	5.12±0.78	4.36±1.23	0.029	t检验
LVEF/%	68.94±3.58	69.29±6.34	0.834	t检验
LVFS/%	39.08±3.53	39.00±5.02	0.956	t检验
E/(cm/s)	90.76±15.49	79.68±13.46	0.024	Mann-Whitney U检验
A/(cm/s)	48.47±11.64	49.11±12.23	0.871	t检验
E/A	1.95±0.46	1.68±0.34	0.046	t检验

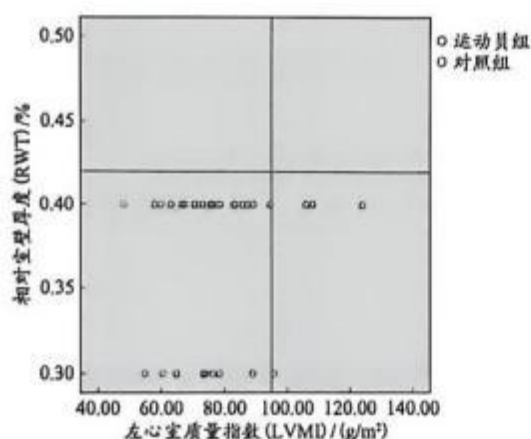


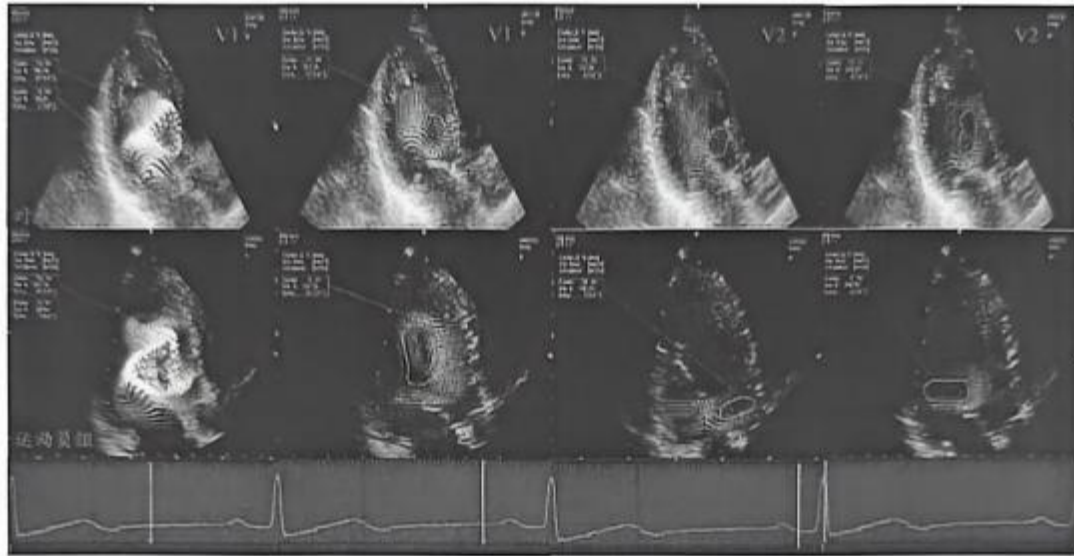
图3 运动员组和对照组受试者的左心室结构分布  
Figure 3. Distribution of Left Ventricular Structures in Subjects in the Athlete and Control Groups

### 3 讨论

通过对女子冰球运动员和普通健康女性的心脏结构进行对比发现, 相较于对照组, 运动员组的LVM和LVMI较大, 且部分女子冰球运动员的PWTd略有增加, 但尚未超过12 mm。2016年美国超声心动图协会(American Society of Echocardiography, ASE)和欧洲心血管影像协会(European Association of Cardiovascular Imaging, EACVI)发布的成人心脏腔室定量指南根据RWT和LVM将左心室几何结构分为4类: 正常结构(LVM正常/RWT正常)、向心性肥厚(LVM增加/RWT增加)、离心性肥厚(LVM增加/RWT正常)和向心性重构(LVM正常/RWT增加); RWT > 0.42被认为增厚; 男性LVMI(LVM/BSA) > 115 g/m<sup>2</sup>、女性LVMI(LVM/BSA) > 95 g/m<sup>2</sup>被认为LVM增加(Lang et al.,

2015)。依据这一标准,本研究运动员组大部分受试者左心室几何结构在正常范围内,仅有3名运动员心脏表现呈离心性肥厚(图3)。这可能与冰球是一项高强度动态性(>70% $\dot{V}O_{2max}$ )和中等强度静态性(20%~50%MVC)相结合的运动这一项目特点有关(Levine et al., 2015),长期高强度动态运动使心肌收缩力增强,心输出量增加以及外周血管阻力降低(Kovacs et al., 2016)。经BSA校正后,运动员组受试者的SV和LVEDV仍明显优于对照组,提

示,优秀女子冰球运动员心脏的特点体现在强大的左心室射血功能及代偿后心室腔变化方面。本研究运动员组受试者的LVFS、LVEF、E/A未见异常。该组研究数据是在运动员日常训练调整后采集的,运动员的静息心率较低符合运动员心脏的特点,较低的心率使心脏舒张期相对延长,确保运动后心脏充分供血可以使高强度运动后的心肌疲劳得到更快的恢复(Levine et al., 1991)。



注:V1为舒张早期,血液经二尖瓣口进入左心室,在二尖瓣前、后叶下方各形成一个局部涡流,前叶位置涡流为顺时针,后叶位置涡流为逆时针方向;V2为舒张晚期,经左心房收缩血液再次进入左室,在左心室底部前投形成一个顺时针方向涡流。

图4 运动员组和对照组的血流向量图

Figure 4. Blood Flow Vector Plots of the Athlete and Control Groups

表4 运动员组和对照组受试者左心室涡流参数比较

Table 4 Comparison of Left Ventricular Vortex Parameters between the Athlete Group and the Control Group

M±SD

参数	V1(n=19)		V2(n=19)	
	对照组	运动员组	对照组	运动员组
涡流方向(顺时针/逆时针)	19/0	19/0	11/0	18/0
相对大小/%	15.79±8.74	15.94±5.22	8.63±8.92	11.41±4.88
相对持续时间/%	12.32±8.08	20.88±7.20*	2.33±2.75	4.58±3.28#
涡流开始位置	AB/PB	18/1	11/0	17/0
	PA/AA			0/1
涡流结束位置	AB/PB	11/5	0/10	0/17
	PA/AA	0/3	1/1	1/0

注:\*表示P<0.01(运动员vs对照组,t检验);#表示P<0.05(运动员vs对照组,Mann-Whitney U检验);V1:舒张早期;V2:舒张晚期。

舒张早期左心室涡流特性是衡量心室舒张功能的标准,不受前负荷的影响,且涡量与舒张功能障碍的临床体征有关(Matsuura et al., 2019);涡流形成时间也被认为是心脏健康的评价标准之一(Belohlavek, 2012)。本研究观察到,与对照组相比,运动员组受试者的V1、V2涡流持续时间显著延长(P<0.01)。这可能与涡流在舒张期的变化规律有关;在舒张早期(V1),左心室处于主动充盈阶段,

因房室压力梯度,促进了血液从左心房(LA)通过二尖瓣口(抽吸效应)流入左心室(LV),在二尖瓣前、后叶下方形成不对称的局部涡流,二尖瓣前叶下方的涡流迅速发展并促进血液从LA到LV的运输(Martinez-Legazpi et al., 2014; Rodriguez Muñoz et al., 2015);舒张晚期(V2),因心房收缩左心室处于被动充盈阶段,在左心室底部二尖瓣前叶远端形成了涡流,该涡流逐步向二尖瓣下方移动,在射血前储

存能量,同时参与二尖瓣的关闭(张瑜等,2015;Rodriguez Muñoz et al.,2015)。在血流速度增加时,涡流循环增大,随着舒张早期快速充盈结束,心室内血流速度减慢,低速的血流有助于产生最稳定、最大面积的顺时针涡流(Mele et al.,2019;Zhang et al.,2012)。本研究中优秀女子冰球运动员V1-涡流持续时间与V1-涡流相对大小呈正相关,涡流持续时间延长可以避免射入流的分散(防止碰撞和能量耗散),并同时具有输送流体的能力(涡流与射入流相互作用)(陈璐璐,2010;Charonko et al.,2013),有助于在缓慢心率下左心室内血流的有序循环,增加心脏功能;同时,优秀女子冰球运动员V2-涡流相对大小均与V1-涡流相对大小、LVEDD、LVEDV、SV呈正相关性( $P<0.05$ ),可见

在舒张期涡流作为相对长期的惯性流体结构,能够使多向的血流融合而不产生过多的能量损耗并降顺应性,从而保证左心室容积在充盈压不显著增加的情况下增大,更有利于腔室顺应性,使运动员投入冰球比赛期间平均做功心率(WHR) $>90\%$   $HR_{max}$ 的情况下保证充足的回心血量,提高心脏射血功能,满足运动时肌肉的能量需求(Martinez-Legazpi et al.,2014;Nogami et al.,2013;Spiering et al.,2003)。另外,E/A作为评价心脏舒张功能的指标,本研究中未见异常,考虑可能是涡流持续时间增加并不意味舒张功能障碍,这与以往心脏涡流特性的病理研究(时嘉欣,2014;Bermejo et al.,2014;Eriksson et al.,2013)是不一致的。

表5 运动员组和对照组受试者左心室涡流参数与常规超声心动图参数、基本资料的相关性分析  
Table 5 Correlation Analysis of Left Ventricular Vortex Parameters with Conventional Echocardiographic Parameters and Basic Data in the Athlete Group and Control Group

相关指标		运动员组( $n=19$ )				对照组( $n=19$ )			
		V1-vortex duration	V1-vortex size	V2-vortex duration	V2-vortex size	V1-vortex duration	V1-vortex size	V2-vortex duration	V2-vortex size
V1-vortex duration	Pearson's correlation	1	0.497	0.170	0.405	1	0.647**	-0.167	0.072
	$P$		0.030	0.151	0.085		0.003	0.495	0.768
V1-vortex size	Pearson's correlation	0.497*	1	0.343	0.627**	0.647**	1	0.194	0.440
	$P$	0.030		0.151	0.004	0.003		0.427	0.060
V2-vortex duration	Pearson's correlation	0.170	0.343	1	0.370	-0.167	0.194	1	0.829***
	$P$	0.151	0.151		0.119	0.495	0.427		0.000
V2-vortex size	Pearson's correlation	0.170	0.627**	0.370	1	0.072	0.440	0.829***	1
	$P$	0.486	0.004	0.119		0.768	0.060	0.000	
LVEDV	Pearson's correlation	0.282	0.354	0.273	0.483*	0.152	0.046	-0.179	0.034
	$P$	0.242	0.137	0.242	0.036	0.536	0.852	0.464	0.891
LVEDD	Pearson's correlation	0.269	0.349	0.260	0.480*	0.241	0.144	-0.176	0.059
	$P$	0.265	0.143	0.282	0.038	0.320	0.557	0.472	0.810
SV	Pearson's correlation	0.290	0.309	0.172	0.460*	-0.188	-0.052	-0.109	-0.009
	$P$	0.228	0.198	0.480	0.048	0.441	0.832	0.656	0.972
PWTd	Spreman's correlation	-0.199	-0.271	-0.097	-0.466*	0.307	0.122	0.029	0.219
	$P$	0.414	0.262	0.693	0.044	0.201	0.619	0.905	0.368

注:V1-vortex duration,V1-涡流相对持续时间;V1-vortex size,V1-涡流相对大小;V2-vortex duration,V2-涡流相对持续时间;V2-vortex size,V2-涡流相对大小;\*表示 $P<0.05$ ,\*\*表示 $P<0.01$ ,\*\*\*表示 $P<0.001$ 。

综上,与未经过规律训练的普通运动女性相比,长期高强度动态运动使女子冰球运动员的心脏前负荷显著增加,表现为左心室内径、舒张末期容积增加,在静息状态下,运动员仍有较高的二尖瓣瓣口血流速度峰值E峰,使舒张期涡流能够吸引多向的流体融合并降低其附近的压力,从而提高左心室充盈效率,对心脏舒张功能起到重要作用。

#### 4 研究的局限性

研究的局限性包括研究设计、研究领域以及技术上的局限性。第一,本研究旨在描述女子冰球运动员心脏左

心室涡流行为以及与普通健康女性的差异。但因运动员群体的特殊性,样本量较少,数据并非都呈正态分布。因此,本研究结果应视为初步结果,需要更大的样本量进行进一步的确认。第二,考虑到心内涡流行为的许多机制不清楚,本研究也只关注了左心室舒张期最稳定的顺时针涡流,尽管本研究也观察到了逆时针涡流,但考虑到逆时针涡流对心功能和血流动力学的影响并不明显,没有进行分析,导致本研究的分析简化。第三,此次采样时间是在运动员日常训练结束后进行的,不排除经过大强度训练后心脏出现运动性疲劳、收缩功能短暂下降,使运动员左心室内残余血量增加,出现LVESV明显增加的情况。

第四, E/A 值与 LV 舒张功能呈“U”形关系, 难以区分正常和假性正常化类型, 尤其对于 LVEF 正常且无其他异常改变的情况, 需要再依据其他指标, 如二尖瓣环处室间隔侧或侧壁舒张早期峰值运动速度  $e'$ 、平均  $E/e'$  等, 进行进一步评估, 从而更加精确评估左心室舒张功能以及探讨变量之间的关系。第五, 由于 VFM 技术的局限性, 使用彩色多普勒作为数据源时需要手动校正速度超过设定的奈奎斯特极限的混叠, 并且由于使用过滤器来避免检测组织运动中的噪声, 阻碍了低流速的检测, 进而导致观测平面未能观察到存在的所有流体结构。

## 5 结论

1) 参加长期高强度训练的优秀女子冰球运动员的心脏结构表现出正常的运动适应性改变, 收缩和舒张功能良好。

2) 长期规律进行高强度运动训练的优秀女子冰球运动员左心室舒张期涡流持续时间延长, 使多向的血流融合而不产生过多的能量损耗, 保证左心室容积在充盈压不显著增加的情况下增大, 有利于腔室顺应性, 也有助于运动员比赛期间在平均做功心率  $> 90\%HR_{max}$  的情况下保证运动员的回心血量, 提高心脏射血功能, 满足运动中肌肉的能量需求。

## 参考文献:

陈璐璐, 2010. 血流向量图技术分析左室心腔内血流动力学特点[D]. 西安: 第四军医大学: 1-60.

程冠, 夏娟, 李菁, 等, 2021. 血流向量成像技术对心腔流体力学的研究进展[J]. 临床超声医学杂志, 23(10): 773-775.

高爽, 梁辰, 张建红, 等, 2020. 冬季项目男子残疾运动员心脏超声特点的研究[J]. 中国超声医学杂志, 36(10): 902-904.

刘蕊, 纳丽莎, 刘丽文, 等, 2012. 血流向量成像技术量化观察急性下壁心肌梗死患者舒张期左心室涡流特征[J]. 中国医学影像学杂志, 20(9): 680-683.

莫铁, 韦军, 2018. 我国运动心脏的诊断现状及进展[J]. 中国临床新医学, 11(2): 208-212.

时嘉欣, 2014. 血流向量成像技术评价梗阻性与非梗阻性肥厚型心肌病左心室内血流流场特征[J]. 中华超声影像学杂志, 23(5): 372-376.

张瑜, 丁云川, 王庆慧, 等, 2015. 血流向量成像定量评价正常成人左心室涡流特征[J]. 昆明医科大学学报, 36(10): 36-40.

BELOHLAVEK M, 2012. Vortex formation time: An emerging echocardiographic index of left ventricular filling efficiency?[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 13(5): 367-369.

BERMEJO J, BENITO Y, ALHAMA M, et al., 2014. Intraventricular vortex properties in nonischemic dilated cardiomyopathy[J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 306(5): H718-H729.

CHARONKO J J, KUMAR R, STEWART K, et al., 2013. Vortices formed on the mitral valve tips aid normal left ventricular filling[J]. Ann Biomed Eng, 41(5): 1049-1061.

DOUGLAS A, ROTONDI M A, BAKER J, et al., 2019. On-ice physical demands of world-class women's ice hockey: From training to competition[J]. Int J Sports Physiol Perform, 14(9): 1227-1232.

ERIKSSON J, BOLGER A F, EBBERS T, et al., 2013. Four-dimensional blood flow-specific markers of LV dysfunction in dilated cardiomyopathy[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 14(5): 417-424.

KOVACS R, BAGGISH A L, 2016. Cardiovascular adaptation in athletes[J]. Trends Cardiovasc Med, 26(1): 46-52.

LANG R M, BADANO L P, MOR-AVI V, et al., 2015. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: An update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging[J]. J Am Soc Echocardiogr, 28(1): 1-39.e14.

LEVINE B D, BAGGISH A L, KOVACS R J, et al., 2015. Eligibility and disqualification recommendations for competitive athletes with cardiovascular abnormalities: Task force 1: Classification of sports: Dynamic, static, and impact: A scientific statement from the American Heart Association and American College of Cardiology[J]. Circulation, 132(22): e262-266.

LEVINE B D, LANE L D, BUCKEY J C, et al., 1991. Left ventricular pressure-volume and Frank-Starling relations in endurance athletes. Implications for orthostatic tolerance and exercise performance[J]. Circulation, 84(3): 1016-1023.

MARTINEZ-LEGAZPI P, BERMEJO J, BENITO Y, et al., 2014. Contribution of the diastolic vortex ring to left ventricular filling[J]. J Am Coll Cardiol, 64(16): 1711-1721.

MATSUURA K, SHIRAIISHI K, SATO K, et al., 2019. Left ventricular vortex and intraventricular pressure difference in dogs under various loading conditions[J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 316(4): H882-H888.

MELE D, SMARRAZZO V, PEDRIZZETTI G, et al., 2019. Intracardiac flow analysis: Techniques and potential clinical applications[J]. J Am Soc Echocardiogr, 32(3): 319-332.

MITCHELL J H, HASKELL W, SNELL P, et al., 2005. Task Force 8: Classification of sports[J]. J Am Coll Cardiol, 45(8): 1364-1367.

MONTGOMERY D L, 1988. Physiology of ice hockey[J]. Sports Med, 5(2): 99-126.

NOGAMI Y, ISHIZU T, ATSUMI A, et al., 2013. Abnormal early diastolic intraventricular flow 'kinetic energy index' assessed by vector flow mapping in patients with elevated filling pressure[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 14(3): 253-260.

PATERICK T E, GORDON T, SPIEGEL D, 2014. Echocardiography: Profiling of the athlete's heart[J]. J Am Soc Echocardiogr, 27(9): 940-948.

RODRÍGUEZ MUÑOZ D, MOYA MUR J L, FERNÁNDEZ-GOLFÍN C, et al., 2015. Left ventricular vortices as observed by vector flow mapping: main determinants and their relation to left ventricular filling[J]. Echocardiography, 32(1): 96-105.

SPIERING B A, WILSON M H, JUDELSON D A, et al., 2003. Evaluation of cardiovascular demands of game play and practice in women's ice hockey[J]. J Strength Cond Res, 17(2): 329-333.

YANG P, ZHANG J, XUE J, et al., 2023. Time domain adaptation of left ventricular diastolic intraventricular pressure in elite female ice hockey athletes[J]. Front Cardiovasc Med, 10: 1057129.

ZHANG H B, ZHANG J, ZHU X X, et al., 2012. The left ventricular intracavitary vortex during the isovolumic contraction period as detected by vector flow mapping[J]. Echocardiography, 29(5): 579-587.

(下转第81页)

The results indicated that the cross stress adaptation hypothesis and the antagonistic stress hypothesis explained partly relationship between physical exercise and psychosocial stress. There were dual mechanism systems of physical exercise in affecting psychosocial stress, i.e., the HPA system can promote habitual adaptation of the stress response system, and the neuro-immune, emotion, physical fitness and MGBA system can increase the positive states of the stress response system. Based on the dual mechanism systems, the following physical exercise programs were suggested: Yoga, Tai Chi, Qi Gong, outdoor walking and leisure sports are recommended to relieve greater psychosocial stress; long-term regular high intensity and high amount exercise including endurance, resistance and HIIT were recommended to increase the adaptation of psychosocial stress.

**Keywords:** *physical exercise; psychosocial stress; cross stress adaptation; antagonistic stress*

(上接第 72 页)

## Evaluation of Left Ventricular Eddy Current in Elite Female Ice Hockey Players by Using Vector Flow Mapping

ZHANG Jianmei<sup>1</sup>, BAI Meiyong<sup>2</sup>, ZHANG Ruiping<sup>1</sup>, YANG Ping<sup>3</sup>, FAN Yudong<sup>4\*</sup>

1. Sports Medical Supervision Research Center, National Institute of Sports Medicine, Beijing 100061, China;

2. Rehabilitation Department, Jilin Sports System Sports Trauma Hospital, Changchun 130022, China;

3. Postdoctoral Mobile Station of Sports Science, Chengdu Sport University, Chengdu 610041, China;

4. Cardiovascular Medicine Department, Emergency General Hospital, Beijing 100028, China

**Abstract:** Objective: To explore the changes of left ventricular vortex in elite female ice hockey players who conducted long-term high-intensity exercise training. Methods: A total of 19 elite female ice hockey players (athlete group) and 19 healthy young women (control group) were examined by transthoracic echocardiography, the vector flow mapping (VFM) technology was executed to calculate the rotation direction, position, relative duration and relative size of the vortex at the early diastolic phase (V1) and late diastolic phase (V2) under the apical three-chamber view. Results: 1) No significant difference was observed in RWT, PWTd, LVEF, LVFS, and A between the two groups ( $P > 0.05$ ); compared with the control group, the IVSd, LVM, LVMI, LVEDD, LVEDV, LVESV, E, E/A, SV and CO were increased in the athlete group ( $P < 0.05$ ); standardized by BSA, the significant difference was still observed in LVEDV and SV between the two groups ( $P < 0.05$ ). 2) There was no significant difference in position, direction, and relative size of vortex at V1 and V2 between the two groups ( $P > 0.05$ ); however, the relative duration of vortex was significant different at V1 and V2 between the two groups ( $P < 0.05$ ). 3) The relative size of vortex at V2 was highly correlated with relative size of vortex at V1, LVEDD, LVEDV, and SV ( $P < 0.05$ ). Conclusion: 1) The cardiac structure of female ice hockey players shows normal exercise adaptation, the cardiac systolic and diastolic functions are good. 2) The duration of the left ventricular diastolic vortex in elite female ice hockey players is prolonged, which enables the fusion of multi-directional blood flow without excessive energy loss, and increases the left ventricular volume without significant increase in filling pressure. The abovementioned changes are conducive to ventricular compliance and diastolic function, and helpful to ensure the return blood volume under the condition of average working heart rate (WHR)  $> 90\%HR_{max}$ , improving the cardiac ejection function and benefit the muscle energy demand during exercise.

**Keywords:** *vector flow mapping; ice hockey; vortex behavior; cardiac function*



中国体育科学学会主办

# 体育科学

CHINA SPORT SCIENCE

国家社科基金资助期刊  
中文体育类核心期刊  
中国人文社会科学期刊  
AMI综合评价(A刊)权威期刊  
CSSCI来源期刊

2024年5月(第44卷)

5



## 体育科学 (月刊)

2024年(第44卷)第5期  
1981年创刊

主 管: 国家体育总局  
主 办: 中国体育科学学会  
编辑出版: 国家体育总局体育科学研究所  
《体育科学》编辑部  
印 刷: 北京富泰印刷有限责任公司  
国内发行: 北京市报刊发行局  
国内订阅: 全国各邮政局  
国外发行: 中国国际图书贸易集团有限公司  
国外发行代号: BM708  
地 址: 北京市东城区体育馆路11号  
邮政编码: 100061  
电 话: 010-87182590 87182589  
网 址: [www.cisszgy.com](http://www.cisszgy.com)  
邮 箱: [bjb@ciss.cn](mailto:bjb@ciss.cn)

## CHINA SPORT SCIENCE

Vol. 44, No.5, May, 2024  
Founded in 1981

Administrated by General Administration of Sport of China  
Sponsored by China Sport Science Society  
Edited by the Editorial Department of CHINA SPORT SCIENCE  
of the China Institute of Sport Science  
Domestic Distribution: Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals  
Oversea Distribution: China International Book Trading Corporation,  
Beijing 100044, China, BM708  
Address: 11 Tiyuguan Road, Dongcheng District, Beijing, P.R.China  
ZIP Code: 100061  
Tel: 8610-87182590 87182589  
<http://www.cisszgy.com>  
E-mail: [bjb@ciss.cn](mailto:bjb@ciss.cn)

ISSN 1000-677X  
CN 11-1295/G8  
邮发代号: 2-436

期刊出版许可证 京期出证字第0165号  
国内定价: 每册25元 全年300元 每月15日出版

ISSN 1000-677X





## CONTENTS

REN Hai	
On the Culture of Sports	3
ZHOU Lijun, LAN Wei, WANG Yan, FENG Yihan, FENG Xiaolu <sup>*</sup>	
Value Implications, Practical Exploration and Future Pathways of the Development of the Outdoor Sports Industry in the Process of China's Modernization	12
TANG Ju, YU Wangyang, CHEN Changzhou, WANG Hongying <sup>*</sup>	
Implementing the Law of the People's Republic of China on Sports and Enhancing the Government Governance Efficiency: A Study on Regulatory Strategies for High-Risk Sports Events	22
HAO Dongfang	
On the Body Agency and the Basic Theoretical Issues in Sport	32
SUN Hao, LI Ding, YU Xiaomei, YAN Jinhui, ZHANG Ye'an <sup>*</sup>	
Study of the Interplay between Health Communication through Sports Social Media and Sports Behavior of Adolescents and Youths—The Mediating Role of Health Beliefs	40
SUN Dong, SONG Yang, ZHU Chengyuan, CEN Xuanzhen, ZHENG Zhiyi, LI Fengping, XU Yining, GU Yaodong <sup>*</sup>	
Study on the Biomechanical Mechanism of Foot Bruised Toenail Injury Caused by Long-Distance Running	54
YANG Ping, ZHANG Jianmei <sup>*</sup> , XUE Jun, ZHANG Rulping, LI Rui, CHEN Yiping, HE Benxiang	
Characteristics of Left Ventricular Segmental Hemodynamics Evaluated by Wall Shear Stress in Elite Female Ice Hockey Athletes	62
NIE Mingjian, CHENG Huihui, LONG Xiangwei, LI Hongjuan <sup>*</sup>	
Research Progress on Sleep Screening Methods Using Actigraph (GT3X/± Series) Accelerometer	72
YUAN Yang, CHEN Bing'ao, ZHANG Jiahao, BAN Weikang	
Research Progress on Longevity Efficacy and Related Mechanisms Based on <i>Caenorhabditis Elegans</i> Exercise Models	84

# 体育科学

(月刊)

## TIYU KEXUE

国家体育总局 主管

中国体育科学学会 主办

2024年(第44卷)第5期

(2024年5月15日出版)

### 目次

#### 特约专稿

论运动项目文化 .....任海(3)

#### 研究报告

中国式现代化背景下户外运动产业发展的价值意蕴、实践探索与

未来进路 .....周丽君, 兰伟, 王琰, 冯祎晗, 冯晓露(12)

贯彻落实《体育法》,提升政府治理效能:高危险性体育赛事活动

监管策略研究 .....唐桔, 余汪洋, 陈长洲, 王红英(22)

论身体能动性 with 体育基本理论问题 .....郝东方(32)

体育社交媒体健康传播与青少年体育行为互动影响研究

——健康信念的中介作用 .....孙浩, 李丁, 于晓梅,

阎晋虎, 张业安(40)

长跑致足部黑脚趾损伤的生物力学

机制研究 .....孙冬, 宋杨, 朱承运, 岑炫震, 郑志艺,

李峰平, 徐异宁, 顾耀东(54)

壁面剪切应力评价优秀女子冰球运动员左心室节段性

血流动力学特征 .....杨萍, 张剑梅, 薛军, 张瑞平,

李睿, 陈义萍, 何本祥(62)

综述与进展

ActiGraph(GT3X/士系列)加速度计睡眠筛查方法

研究进展.....及明剑, 程慧丽, 龙湘微, 李红娟 (72)

基于秀丽隐杆线虫运动模型的延寿功效及其相关机制

研究进展.....原 阳, 陈炳奥, 张加荣, 班伟康 (84)

本刊声明

本刊不以任何形式收取版面费,全国社科工作办举报电话:010-63098272。

《体育科学》编辑部

期刊基本参数:CN11-1295/G8 • 1981 • m • 16 • 96 • zh • P • ¥25.00 • 4290 • 09 • 2024-05

主编:EDITOR-IN-CHIEF

曹景伟 CAO Jingwei

编委: EDITORIAL BOARD

(按姓氏笔画为序)

副主编: ASSOCIATEEDITORS

张 剑 ZHANG Jian

陈佩杰 CHEN Peijie

冯连世 FENG Lianshi

马宏俊 MA Hongjun

王 进 WANG Jin

毛德伟 MAO Dewei

白晋湘 BAI Jinxiang

丛湖平 CONG Huping

吕万刚 LYU Wangang

任 海 REN Hai

刘 兴 LIU Xing

刘 宇 LIU Yu

刘 青 LIU Qing

刘大庆 LIU Daqing

江崇民 JIANG Chongmin

李国平 LI Guoping

杨国庆 YANG Guoqing

何子红 HE Zihong

张力为 ZHANG Liwei

张忠秋 ZHANG Zhongqiu

张瑞林 ZHANG Rulping

陈小平 CHEN Xiaoping

易剑东 YI Jiandong

季 浏 JI Liu

季林红 JI Linhong

赵富学 ZHAO Fuxue

钟秉枢 ZHONG Bingshu

谢敏豪 XIE Minhao

鲍明晓 BAO Mingxiao

外籍编委:

FOREIGNEDITORIAL BOARD

巴里·布劳恩 Barry Braun

卡尔·福斯特 Carl Foster

刘 展 Zhan Liu

编辑部主任: 卞剑荣

责任编辑: 高天文

编 辑: 李晴慧

张 雷

丁 合

马 婧

金乃婧

中文校对: 马丽萍

英文审校: 李 良

赫 亮



## 壁面剪切应力评价优秀女子冰球运动员左心室节段性血流动力学特征

杨萍<sup>1</sup>, 张剑梅<sup>2</sup>, 薛军<sup>3</sup>, 张瑞平<sup>2</sup>, 李睿<sup>1</sup>, 陈义萍<sup>4</sup>, 何本祥<sup>1</sup>

(1. 成都体育学院 体育学博士后流动站, 四川 成都 610041;

2. 国家体育总局运动医学研究所 运动医务监督研究中心, 北京 100061;

3. 北京应急总医院 国家应急医学研究中心, 北京 100028;

4. 北京体育大学 运动医学与康复学院, 北京 100084)

**摘要:**目的:探讨优秀女子冰球运动员左心室(left ventricular, LV)心腔内的节段性血流动力学特征。方法:以53名女子冰球运动员(27名优秀运动员、26名普通运动员)和24名健康对照受试者为研究对象,应用基于超声心动图的血流向量成像技术无创测量LV二维结构、LV心尖二/三/四腔心切面室内相对压力差(intraventricular pressure difference, IVPD)和各节段壁面剪切应力(wall shear stress, WSS),分析快速射血期、收缩末期和快速充盈期IVPD峰值时相下WSS的组间差异,统计组间差异显著的WSS与LV结构参数和训练水平的相关性,探讨优秀女子冰球运动员心脏结构适应长期高水平训练的LV心腔内节段性血流动力学特征。结果:1)优秀女子冰球运动员左心室质量指数(LV mass index, LVMI)、左心室舒张末期容积指数(LV end diastolic volume index, LVEDVi)和左心室收缩末期容积指数(LV end systolic volume index, LVESVi)显著高于健康对照组,相对室壁厚度指数(relative wall thickness index, RWTi)显著低于健康对照组;2)在快速射血期,优秀女子冰球运动员下侧壁心尖段(apical lateral, ApL)的WSS显著高于普通运动员( $P=0.029$ );在收缩末期,优秀女子冰球运动员ApL( $P=0.005$ )和下侧壁中间段(mid inferolateral, MIL;  $P=0.008$ )的WSS显著低于普通运动员,后间壁中间段(mid inferoseptal, MIS)的WSS显著低于普通运动员( $P=0.027$ )和健康对照组( $P=0.046$ );3)快速射血期ApL的WSS与RWTi显著负相关,与训练水平显著正相关;收缩末期ApL和MIL的WSS与LVMI、LVEDVi和LVESVi显著负相关,MIL和MIS的WSS与训练水平显著负相关。结论:1)优秀女子冰球运动员LV结构呈生理性增大,心腔内血流动力学在收缩期呈节段性优化;2)运动员在长期专业训练中通过心腔内节段性血流动力学的优化促进其心脏结构的生理性适应。研究结果可为运动员心脏形成的血流动力学机制提供理论依据,并为预防运动员心脏病理性重构的发展提供参考。

**关键词:**冰球;心室内血流动力学;壁面剪切应力;室内相对压力梯度;训练

**中图分类号:**G804.5 **文献标识码:**A

运动员心脏的卓越性能表现为心肌在长期高强度运动的刺激下,为适应心腔内超负荷血流动力学而发生的适应性改变(D'Ascenzi et al., 2017)。心脏的不对称几何结构赋予心肌收缩时心腔内血流方向不断变化的能力(Arvidsson et al., 2017)。节段性心肌受力不均可能是左心室(left ventricular, LV)重构的诱因,因此,运动员心脏LV结构与节段性血流动力学的相关性值得深入探讨。经研究发现,相较于男性运动员,女性运动员的心脏表现出更强的LV结构可塑性,反映出女性运动员较强的心腔扩大能力(D'Ascenzi et al., 2020)。前期研究表明,相较于健康对照组,适应长期高水平训练的优秀女子冰球运动员的心脏表现出较大的LV舒张末期容积、收缩末期容积和每搏输出量

(Yang et al., 2023)。且较长的舒张期血流动力学持续时间与LV舒张末期内径、容积及每搏输出量显著相关,这同时也提示了优秀女子冰球运动员心腔内血流动力学和心脏结构的相关性(张剑梅等, 2023)。然而, LV心腔内血流动力学与心脏结构的相关性是否存在节段性特征值得深入探讨。

收稿日期: 2024-02-05; 修订日期: 2024-04-28

基金项目: 科技部国家重点研发计划(2022YFC2010200);四川省中央引导地方科技发展专项(2022ZYD0089)。

第一作者简介: 杨萍(1986-),女,讲师,博士,主要研究方向为运动员心肺功能评定, E-mail: yangpingsrnu@163.com。

\*通信作者简介: 张剑梅(1975-),女,主任医师,硕士,主要研究方向为心血管疾病的诊断与治疗, E-mail: zjm13071156806@163.com。

壁面剪切应力(wall shear stress, WSS)是心腔的壁面与血流相互作用的机械应力,反映着心脏的生理/病理表现(Itatani et al., 2017)。在生理状态下, LV心肌各节段有序规律地协调运动,与心腔内的血流相互作用,产生规则的血流模式(Eriksson et al., 2016)。但当肌体组织受损(如局部缺血)或炎症信号刺激时,改变的机械应力会被心肌成纤维细胞识别,从而引起基质更新的表型变为基质瘢痕形成细胞的表型,即心肌成纤维细胞参与心肌纤维化(Ferrari et al., 2019)。在一项心脏磁共振检测心肌纤维化的研究中发现,无症状的LV肥大运动员LV下壁和侧壁基底段出现的非缺血性晚期增强,提示了下壁和侧壁基底段是运动性心肌纤维化的易发部位(Tahir et al., 2018)。因此,探讨运动员心脏心腔内节段性WSS适应心脏结构的特征,可以为预防运动性心肌纤维化提供参考。

血流向量成像(vector flow mapping, VFM)是一种用于评价心腔内血流速度矢量的新型超声心动图技术(Stugaard et al., 2015)。基于连续性方程和斑点跟踪超声心动图的结合,它可以评估平行和垂直心腔壁面的流速,通过纳维尔-斯托克斯(Navier-Stokes)方程将速度信息转换为压力信息(Tanaka et al., 2017)。基于斑点跟踪和彩色多普勒技术的VFM技术,通过多普勒频移信息获取心腔内血液流场状态,可无创便捷地观察心动周期各时相下的LV室内相对压力(intraventricular pressure, IVP)和节段性WSS(Nakajima et al., 2021)。基于VFM技术的WSS已被应用于检测冠心病、高血压、糖尿病、终末期肾病和主动脉瓣返流等多种疾病的心肌功能异常(Arzani et al., 2018; Ji et al., 2018; Meng et al., 2020)。

本研究利用VFM技术无创测量优秀女子冰球运动员的心腔内血流动力,对比在不同训练水平下,女子冰球运动员LV结构和IVP峰值时相下各节段的WSS,以期验证以下研究假设:1)女子冰球运动员LV节段性WSS与健康对照人群存在显著性差异;2)节段性WSS与LV结构参数和训练水平存在相关性。研究结果可为长期专业训练通过心腔内节段性血流动力影响运动员心脏结构的力学机制提供理论依据,并为预防运动员心脏由生理性适应发展为病理性重构提供理论参考。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

采用观察性设计,纳入27名为北京2022年冬奥会作准备的优秀女子冰球运动员,并从参加训练营的省队中招募等量的普通运动员,从北京体育大学和国家体育总局体育科学研究所招募等量的健康女性受试者,共81名女性参加了本研究。纳入标准:1)20~30周岁女性;2)没有特殊的病史或慢性疾病;3)心脏结构正常和窦性心律。排除标准:1)既往有高血压、糖尿病或心脏、肾脏、肝

脏、感染性疾病及精神疾病史;2)超声心动图的图像质量差;3)心脏瓣膜疾病或心脏节段性室壁运动异常。排除图像质量较差的1名普通运动员和3名健康女性受试者后,最终获得77名受试者的有效数据。为探讨女子冰球运动员适应不同训练水平的LV节段性血流动力学特征,将受试者按训练水平分为3组:技术等级为健将级或一级的冰球运动员(训练年限大于10年,近半年每周训练时间超过20h)纳入优秀运动员组,技术等级为二级或三级的冰球运动员(训练年限小于10年,近半年每周训练时间低于20h)纳入普通运动员组,不参加定期锻炼的健康女性纳入健康对照组。3组受试者年龄[优秀运动员组(23.89±3.50)岁、普通运动员组(22.81±3.01)岁、健康对照组(23.96±2.37)岁]无显著性差异( $P=0.314$ )。

本研究已经国家体育总局运动医学研究所伦理委员会(2021-15)批准,所有受试者均已签署知情同意书,研究流程符合赫尔辛基宣言。在医务人员监督下,于2021年4月—2022年1月完成心脏机能评估,运动员数据的采集在训练期的休息日(训练后24h之内)进行,健康对照组受试者的数据采集在健康体检时完成。

### 1.2 经胸超声心动图检查

按照美国超声心动图学会(American Society of Echocardiography)推荐的方法(Lang et al., 2015),使用超声设备ALOKA LISENDO880和UST-52105心脏探头(日立,日本东京)进行经胸超声心动图检查,采样频率为60 Hz。使用VFM技术配置存储LV心尖二、三和四腔心切面的二维cinloop图像,追踪3个心动周期的LV内膜,提高二维彩色多普勒成像的奈奎斯特(Nyquist)极限以减少混叠现象,计算VFM中的LV心腔内血流动力参数。所有超声心动图均由同一位经验丰富的技术人员完成。测量和分析均为双盲设计。

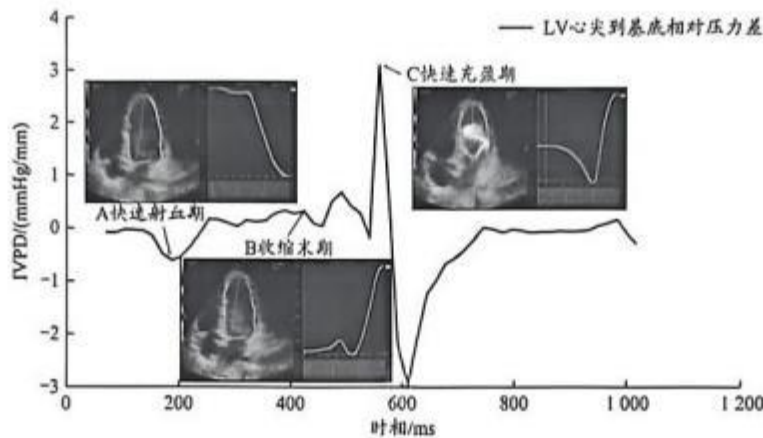
超声心动图测量包括舒张末期室间隔厚度(interventricular septal thickness, IVST)、左心室舒张末期内径(left ventricular end diastolic dimension, LVDd)、左心室舒张末期后壁厚度(left ventricular posterior wall thickness, LVPWT)、左心室收缩末期内径(left ventricular end systolic dimension, LVDs)、左心室舒张末期容积(left ventricular end diastolic volume, LVEDV)、左心室收缩末期容积(left ventricular end systolic volume, LVESV)及每搏输出量(cardiac output, CO)。计算相对室壁厚度(relative wall thickness, RWT): $RWT=(IVST+LVPWT)/LVDd$ ;左心室质量(left ventricular mass, LVM): $LVM=0.8 \times 10.4 \times [(IVST+LVPWT+LVDd)^3-LVDd^3]+0.6$ 。将以上结构参数除以体表面积获得室间隔厚度指数(interventricular septal thickness index, IVSTi)、相对室壁厚度指数(relative wall thickness index, RWTi)、左心室舒张末期内径指数(left ventricular end diastolic dimension index, LVDdi)、左心室舒张末期后

壁厚度指数(left ventricular posterior wall thickness index, LVPWTi)、左心室收缩末期径指数(left ventricular end systolic dimension index, LVDsi)、左心室质量指数(left ventricular mass index, LVMi)、左心室舒张末期容积指数(left ventricular end diastolic volume index, LVEDVi)、左心室收缩末期容积指数(left ventricular end systolic volume index, LVESVi)和心输出量指数(cardiac output index, CI)。

### 1.3 基于VFM的IVP和WSS分析

采用在机VFM软件对存储的超声图像进行血流动力

分析。在等容舒张期手动设置LV心内膜边界,然后自动追踪一个完整心动周期的心内膜边界。设置LV心尖到基底的采样线,以固定长度采样线自动计算一个心动周期的LV心尖到基底的室内相对压力差(intraventricular pressure difference, IVPD),而室内相对压力梯度(intraventricular pressure gradient, IVPG)等于IVPD与采样线长度的比值。选择心动周期中的快速射血期、收缩末期和快速充盈期的IVPD峰值时相,计算血流动力最高时的各切面IVPD峰值绝对值,以及各节段WSS正向峰值(图1)。



红色线条为LV心尖四腔心切面室内相对压力在一个心动周期的变化;于图A、B、C中的黄色线条为LV心尖到基底采样线的压力分布,心内膜边界处的彩色线条为壁面剪切应力。

图1 运动员心脏LV心尖四腔心切面在快速射血期、收缩末期和快速充盈期的室内相对压力和壁面剪切应力示意  
Figure 1. Variation of the Intraventricular Pressure and Wall Shear Stress in LV Apical 4-Chamber View during Rapid Ejection, Late Systole and Rapid Filling Phases

参考LV心肌16节段划分图(图2A~2C),手动删除超出LV心内膜范围的WSS数据,导出各时相下的LV心尖二、三、四腔心切面共16节段WSS(图2)。16节段包括LV心尖二腔心切面的下壁心尖段(apical inferior, ApI)、下壁中间段(mid inferior, MI)、下壁基底段(basal inferior, BI)、前壁心尖段(apical anterior, ApA)、前壁中间段(mid anterior, MA)、前壁基底段(basal anterior, BA);LV心尖三腔心切面的下侧壁心尖段(apical inferolateral, ApL)、下侧壁中间段(mid inferolateral, MIL)、下侧壁基底段(basal inferolateral, BIL)、前间壁心尖段(apical anteroseptal, ApS)、前间壁中间段(mid anteroseptal, MAS)、前间壁基底段(basal anteroseptal, BAS)、LV心尖四腔心切面的前间壁心尖段(apical anteroseptal, ApS4)、后间壁中间段(mid inferoseptal, MIS)、后间壁基底段(basal inferoseptal, BIS)、LV心尖四腔心切面下侧壁心尖段(apical inferolateral, ApL4)、前侧壁中间段(mid anterolateral, MAL)、前侧壁基底段(basal anterolateral, BAL)。对所有参数在3个连续心动周期中取平均值。使用MATLAB R2021b对IVP和WSS参数进行离线处理。

### 1.4 统计分析

通过Shapiro-Wilk *W*检验和Levene检验分析数据的正态性和方差齐性,正态分布变量表示为均值±标准差,非参数变量表示为中位数[第一四分位数,第三四分位数]。符合正态分布的变量采用单因素方差分析,不符合正态分布的变量采用非参数Kruskal-Wallis检验比较组间差异。采用Bonferroni调整 $\alpha$ 水平进行两两比较。利用Spearman相关分析探讨组间差异显著的IVP、WSS与LV结构参数和训练水平的相关性,显著性水平设为 $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 受试者生理指标和LV结构特征

优秀女子冰球运动员的身高、体重、体表面积显著高于健康对照组,心率和舒张压显著低于健康对照组(表1);普通运动员心率显著低于健康对照组(表1)。优秀女子冰球运动员的IVSTi、LVDdi、LVMi、LVEDVi和CI显著高于普通运动员,LVDdi、LVDsi、LVMi、LVEDVi和LVESVi均显著高于健康对照组,RWTi显著低于健康对照组;普通运动员的RWTi显著低于健康对照组,LVESVi显著高于健康对照组(表2)。



0.014],  $P=0.048$ ;图3B)。在收缩末期,从LV心尖朝向流出道的血流被开始关闭的主动脉瓣阻挡(图2G~2I),形成LV心尖到流出道IVPD正向峰值(图1B),各切面IVPD和

IVPG组间差异不显著(图3C、3D)。在快速充盈期,血流由二尖瓣朝向LV心尖(图2J~2L),形成IVPD正向峰值(图1C),各切面IVPD和IVPG组间差异均不显著(图3E、3F)。

表1 受试者生理指标  
Table 1 Physiological Indices of the Participants

指标	优秀运动员组( $n=27$ )	普通运动员组( $n=26$ )	健康对照组( $n=24$ )	$P$			
				$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$
身高/cm	168.00 [165.50, 170.00] <sup>a</sup>	165.00 [162.00, 171.25]	161.50 [160.00, 168.75]	1.000	0.099	0.005	0.006
体重/kg	63.58 ± 6.97 <sup>a</sup>	58.85 ± 5.89	56.54 ± 8.78	0.061	0.798	0.003	0.003
体表面积/m <sup>2</sup>	1.72 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.66 ± 0.10	1.61 ± 0.13	0.154	0.390	0.002	0.003
心率/bpm	67.41 ± 8.18 <sup>a</sup>	67.23 ± 10.62 <sup>b</sup>	76.75 ± 10.89	0.946	0.003	0.004	0.001
收缩压/mmHg	113.00 [108.00, 117.00]	110.00 [107.50, 110.50]	110.00 [110.00, 116.75]	0.062	0.782	0.750	0.449
舒张压/mmHg	66.00 [64.00, 71.00] <sup>a</sup>	70.00 [68.00, 80.00]	74.00 [70.00, 80.00]	0.109	0.616	0.002	0.003

注:1)数据以平均值±标准差或中位数[第一四分位数,第三四分位数]的形式呈现;2) $P_1$ .优秀运动员与普通运动员之间差异检验的显著性, $P_2$ .普通运动员和健康对照组之间差异检验的显著性, $P_3$ .优秀运动员与健康对照组之间差异检验的显著性, $P_4$ .三组受试者间差异检验的显著性;3)a.优秀运动员和健康对照组之间存在显著性差异,b.普通运动员和健康对照组之间存在显著性差异。

表2 受试者超声参数  
Table 2 Echocardiographic Parameters in the Participants

参数	优秀运动员组( $n=27$ )	普通运动员组( $n=26$ )	健康对照组( $n=24$ )	$P$			
				$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$
室间隔厚度指数/(mm·m <sup>-2</sup> )	5.37 ± 0.55 <sup>c</sup>	4.80 ± 0.54	5.03 ± 0.45	<0.001	0.326	0.067	0.001
LV舒张末期左房内径指数/(mm·m <sup>-2</sup> )	28.16 ± 2.25 <sup>ac</sup>	26.48 ± 2.23	26.40 ± 2.12	0.021	1	0.017	0.007
LV舒张末期后壁厚度指数/(mm/m <sup>2</sup> )	5.06 ± 0.57	4.84 ± 0.55	5.19 ± 0.43	0.419	0.070	1	0.070
LV收缩末期左房内径指数/(mm·m <sup>-2</sup> )	17.30 ± 1.760 <sup>a</sup>	16.56 ± 1.60	15.79 ± 1.22	0.267	0.251	0.003	0.004
相对室壁厚度指数/(mm·m <sup>-2</sup> )	0.21 [0.20, 0.24] <sup>a</sup>	0.22 [0.20, 0.25] <sup>b</sup>	0.23 [0.22, 0.27]	1	0.038	0.006	0.005
LV质量指数/(g·m <sup>-2</sup> )	82.27 [77.11, 97.23] <sup>ac</sup>	66.86 [55.78, 76.15]	67.76 [55.98, 76.46]	<0.001	1	<0.001	<0.001
LV舒张末期容积指数/(mL·m <sup>-2</sup> )	63.91 ± 9.56 <sup>ac</sup>	52.96 ± 9.29	49.85 ± 10.69	0.001	0.805	<0.001	<0.001
LV收缩末期容积指数/(mL·m <sup>-2</sup> )	19.63 [17.65, 22.70] <sup>a</sup>	17.73 [14.41, 21.35] <sup>b</sup>	13.81 [12.35, 14.78]	0.162	0.016	<0.001	<0.001
心输出量指数/(L·min·m <sup>-2</sup> )	2.96 [2.72, 3.22] <sup>b</sup>	2.28 [1.97, 2.90]	2.78 [2.49, 3.17]	0.007	0.187	0.799	0.009

注:1)LV.左心室(left ventricular);2)c.优秀运动员和普通运动员之间存在显著性差异。

### 2.3 各时相下LV各切面各节段WSS的组间差异

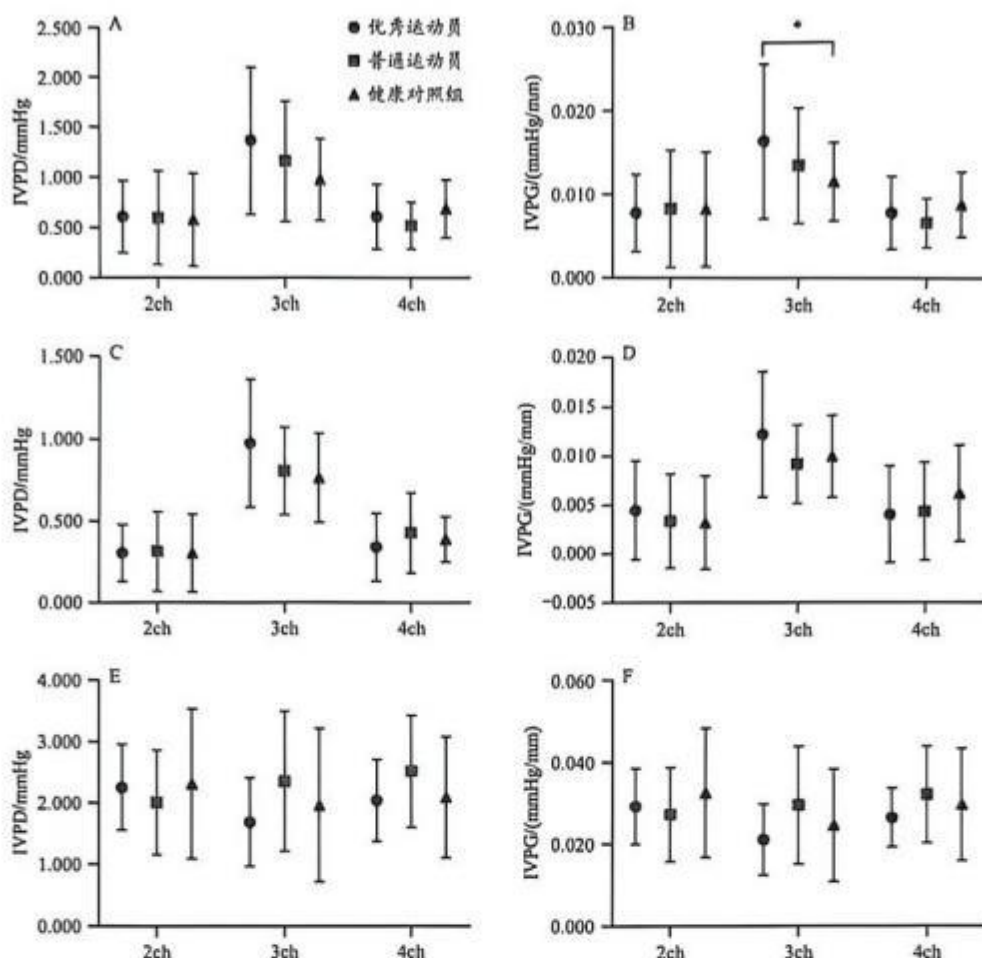
在快速射血期, LV心尖二腔心切面各节段WSS组间差异不显著(图4A);在LV心尖三腔心切面下,优秀女子冰球运动员ApL的WSS/Pa显著高于普通运动员(0.070 [0.030, 0.100] vs 0.030 [0.010, 0.070],  $P=0.029$ ;图4B);LV心尖四腔心切面各节段WSS组间差异不显著(图4C)。

在收缩末期, LV心尖二腔心切面各节段WSS组间差异不显著(图4D);在LV心尖三腔心切面下,优秀女子冰球运动员ApL(0.030 [0.020, 0.060] vs 0.080 [0.050, 0.120],  $P=0.005$ ;图4E)和MIL(0.000 [0.000, 0.001] vs 0.020 [0.000, 0.060],  $P=0.008$ ;图4E)的WSS/Pa显著低于普通运动员, WSS接近0;在LV心尖四腔心切面下,优秀女子冰球运动员MIS的WSS/Pa显著低于普通运动员和健康对照组(0.000 vs 0.005 [0.000, 0.020],  $P=0.027$ ; 0.000 vs 0.001 [0.000, 0.020],  $P=0.046$ ;图4F), WSS为0。

在快速充盈期, LV心尖二、三腔心切面各节段WSS组间差异不显著(图4G、4H);在LV心尖四腔心切面下,优秀女子冰球运动员和健康对照组的组间差异不显著,而普通运动员BIS的WSS/Pa显著高于健康对照组(1.060 [0.860, 1.470] vs 0.950 [0.540, 1.100],  $P=0.042$ ;图4I)。

### 2.4 组间差异显著的LV结构和血流动力参数与训练水平和生理指标的相关性

LV结构和血流动力参数与训练水平的相关性表现在(表3):IVSTi与运动员技术等级和近半年每周训练时间显著正相关,RWTi与训练水平显著负相关;LVMi、LVEDVi和LVESVi与训练水平显著正相关;CI与运动员技术等级显著正相关;在快速射血期, LV心尖三腔心切面IVPG与训练水平显著正相关, ApL的WSS与训练水平显著正相关;在收缩末期, MIL和MIS的WSS与训练水平显著负相关。



A~B. 快速射血期LV心尖到基底IVPD、IVPG; C~D. 收缩末期LV心尖到基底IVPD、IVPG; E~F. 快速充盈期LV心尖到基底IVPD、IVPG。2ch. LV心尖二腔心切面; 3ch. LV心尖三腔心切面; 4ch. LV心尖四腔心切面。\* $P < 0.05$ , 下同。

图3 快速射血期、收缩末期和快速充盈期LV心尖二、三、四腔心切面IVPD和IVPG

Figure 3. IVPD and IVPG of LV Apical Two, Three and Four Chamber View during Rapid Ejection, Late Systole, and Rapid Filling Phases

LV结构和血流动力学参数与生理指标的相关性表现在(表3):IVSTi与身高显著负相关;RWTi与身高、体重和体表面积显著负相关;LVMi与体重、体表面积和收缩压显著正相关,与心率显著负相关;LVEDVi与收缩压显著正相关,与心率显著负相关;LVESVi与体重、体表面积显著正相关,与心率显著负相关;CI与心率和收缩压显著正相关;在快速射血期,ApL的WSS与体重和体表面积显著正相关。

LV结构与血流动力学参数的相关性表现在(表3):在快速射血期,LV心尖三腔心切面IVPG与LVMi、LVEDVi、LVESVi显著正相关,ApL的WSS与RWTi显著负相关;在收缩末期,MIL的WSS与LVMi、LVEDVi和LVESVi显著负相关,ApL的WSS与LVMi、LVEDVi、LVESVi和CI显著负相关。

### 3 讨论

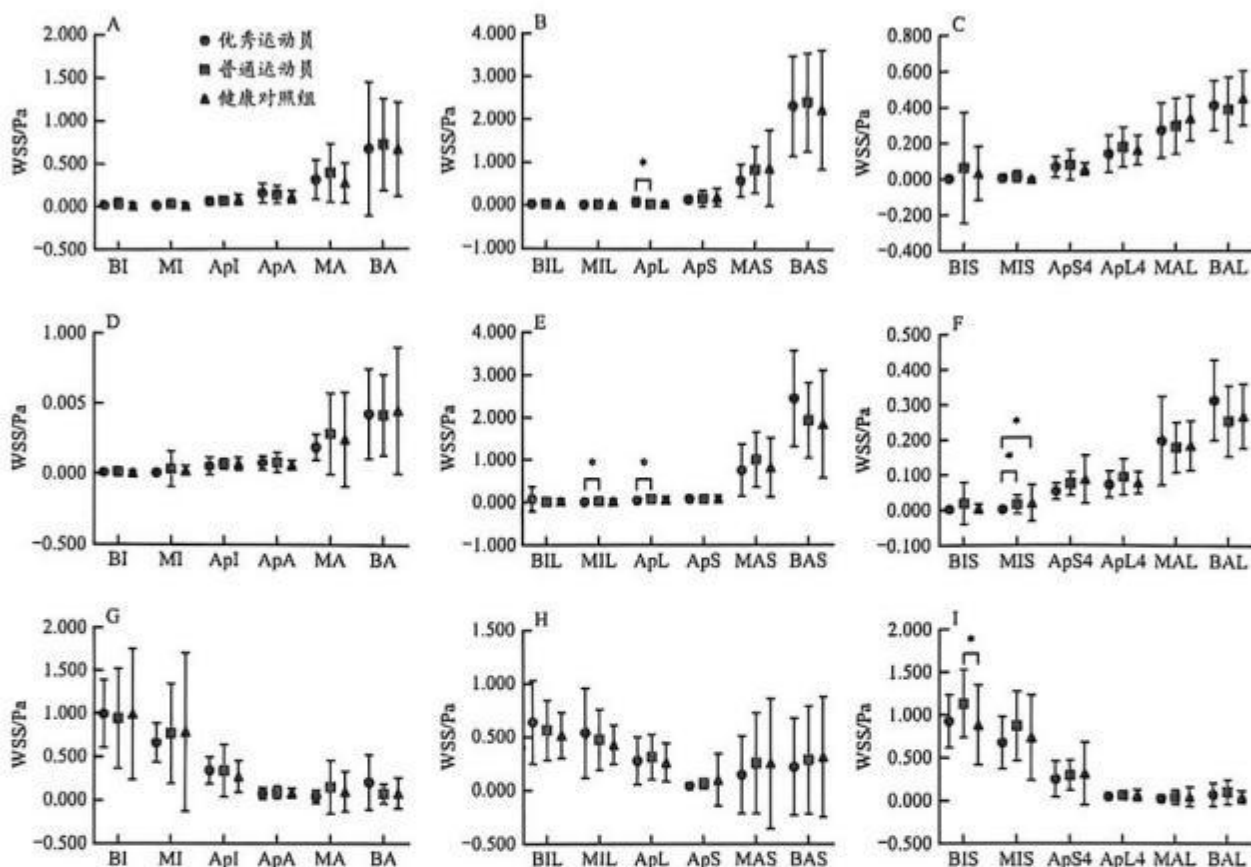
目前国内外关于运动员心脏LV结构和节段性血流动

力相互适应的研究相对较少。本研究利用基于超声心动图的VFM技术无创测量快速射血期、收缩末期和快速充盈期LV室内相对压力差峰值时相下,16个节段的WSS,发现优秀女子冰球运动员在快速射血期和收缩末期的节段性血流动力学与健康对照组之间存在显著性差异,且血流动力学与LV结构参数和训练水平均存在显著相关性。

研究结果验证了优秀女子冰球运动员LV节段性WSS与健康对照组之间存在显著性差异的研究假设。从IVPG组间差异分析中可以看出,优秀女子冰球运动员在快速射血期的LV心尖三腔心切面IVPG显著高于健康对照组(图3B),快速射血期ApL的WSS则表现为优秀女子冰球运动员显著高于普通运动员(图4B)。相较于健康对照组,优秀女子冰球运动员在快速射血期较高的IVPG是心脏的心肌收缩性能提升的具体表现(LaCombe et al., 2023)。对应时相下ApL的WSS升高则提示了运动员心脏收缩期血流动力学优化存在节段性特征。ApL在IVP采样线的起始部位,为IVPG的增加提供了充足的应力条

件。近期一项孟德尔随机化研究支撑了本研究的结果, Hu等(2024)认为,血浆蛋白成纤维细胞生长因子5的浓度与舒张末期心尖段心肌壁的增厚有关,这为心脏负荷增加导致的心肌代偿性肥厚提供了理论依据。Cölliüoğlu等(2021)则发现,心电图呈早期复极模式的运动员存在心肌代偿性肥厚,而这种代偿性肥厚与瞬时钾离子外流

浓度的增加有关。由于心室心肌存在离子通道分布的心尖基底不均匀的特征(Szentadrassy et al., 2005),钾离子外流密度在心尖部高于基底节段(Ophhof et al., 2017)。提示,优秀女子冰球运动员ApL的WSS增加和离子通道的较高分布有关,因此,ApL应作为医务监督中的重点关注部位,以预防心肌纤维化的发生。



A~C快速射血期LV心尖二、三、四腔心切面各节段WSS;D~F收缩末期LV心尖二、三、四腔心切面各节段WSS;G~I快速充盈期LV心尖二、三、四腔心切面各节段WSS。ApL.下壁心尖段;MI.下壁中间段;BI.下壁基底段;ApA.前壁心尖段;MA.前壁中间段;BA.前壁基底段;ApL.下侧壁心尖段;MIL.下侧壁中间段;BIL.下侧壁基底段;ApS.前间壁心尖段;MAS.前间壁中间段;BAS.前间壁基底段;ApS4.LV心尖四腔心切面前间壁心尖段;MIS.后间壁中间段;BIS.后间壁基底段;ApL4.LV心尖四腔心切面下侧壁心尖段;MAL.前侧壁中间段;BAL.前侧壁基底段。

图4 快速射血期、收缩末期和快速充盈期LV各节段WSS

Figure 4. LV Segmental WSS during Rapid Ejection, Late Systole, and Rapid Filling Phases

在快速射血期,ApL的WSS与RWTi显著负相关,在收缩末期,MIL和ApL的WSS与LVMI、LVEDVi、LVESVi显著负相关(表3),以上数据支持了本研究关于节段性WSS与LV结构参数存在相关性的假设。根据弗兰克-斯塔林(Frank-Starling)效应,心肌收缩力的增加与舒张期心肌纤维拉伸的程度成正比(LaCombe et al., 2023)。RWTi根据舒张末期LV的结构参数计算获得,ApL是正对LV流出道的节段,说明舒张末期心肌纤维拉伸的程度越大,快速射血期ApL的WSS就越大。这种相关性符合拉普拉斯定律(Laplace theorem)提出的增大腔室的后负荷较高现象,其室壁应力成比例增加(Gaasch et al., 2008)。在收缩末期,主动脉瓣开始关闭,血流从原来的LV心尖至流出

道方向发生逆转,IVPD逆向升高,较高的后负荷和室内压力决定了心腔室壁应力的增加,这种压力过载可能是向心性肥厚形成的主要刺激因素(Ballo et al., 2004; Santoro et al., 2014)。优秀女子冰球运动员的心脏并没有表现出向心性肥厚的表现,而是部分表现出离心性肥厚的特征(表2)。优秀女子冰球运动员收缩末期MIL、ApL和MIS的WSS显著低于健康对照组,接近于0(图4E、4F),说明此时血流并没有对这些节段心肌壁而形成作用力。而这可能与收缩末期流向LV流出道的血流在主动脉瓣关闭时形成的涡流有关,涡流可以储存能量,还可以降低血流的能量损耗,从而提高主动脉瓣的工作效率(Hatoum et al., 2018)。相关分析发现,收缩末期MIL和ApL的

WSS 与 LVMi、LVEDVi、LVESVi 显著负相关(表 3), 说明优秀女子冰球运动员较大的 LVESVi 在主动脉瓣关闭时反弹的血流无法到达心脏中间段和心尖段, 使得结构较

大 LV 的 ApL 和 MIL 的 WSS 相对较低, 甚至接近于 0。因此, 收缩期节段性 WSS 和 LV 结构的相关性说明血流动力的改变与结构的适应是协同一致的。

表 3 组间差异显著的 IVPG 和 WSS 与训练水平、生理指标及 LV 结构参数的相关性

Table 3 Correlations of IVPG and Segmental WSS with Training Level, Physiological Indices and LV Structural Parameters

		IVSTi	RWTi	LVMi	LVEDVi	LVESVi	CI	IVPG3_RE	ApL_RE	MIL_LS	ApL_LS	MIS_LS
运动员技术等级	$\rho$	0.253	-0.321	0.468	0.432	0.446	0.253	0.302	0.292	-0.357	-0.224	-0.371
	$P$	0.026	0.004	<0.001	<0.001	<0.001	0.026	0.008	0.010	0.002	0.051	0.001
专业训练年限	$\rho$	0.204	-0.335	0.440	0.433	0.482	0.132	0.267	0.257	-0.343	-0.205	-0.326
	$P$	0.075	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.254	0.020	0.025	0.002	0.075	0.004
每周训练时间	$\rho$	0.251	-0.364	0.499	0.479	0.528	0.127	0.311	0.255	-0.289	-0.194	-0.303
	$P$	0.028	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.273	0.006	0.026	0.011	0.094	0.008
身高	$\rho$	-0.225	-0.536	0.037	0.068	0.147	-0.053	-0.006	0.110	-0.153	-0.031	-0.154
	$P$	0.049	<0.001	0.750	0.558	0.203	0.649	0.959	0.345	0.187	0.792	0.184
体重	$\rho$	-0.110	-0.609	0.348	0.215	0.306	0.036	0.149	0.296	0.006	0.046	-0.049
	$P$	0.341	<0.001	0.002	0.061	0.007	0.757	0.197	0.009	0.956	0.692	0.676
体表面积	$\rho$	-0.200	-0.660	0.270	0.172	0.297	-0.023	0.090	0.258	-0.051	0.020	-0.103
	$P$	0.081	<0.001	0.018	0.135	0.009	0.841	0.438	0.024	0.660	0.862	0.375
心率	$\rho$	0.007	0.180	-0.228	-0.272	-0.332	0.325	-0.072	0.061	0.029	-0.070	-0.074
	$P$	0.950	0.117	0.046	0.017	0.003	0.004	0.537	0.598	0.803	0.546	0.526
收缩压	$\rho$	0.120	0.020	0.303	0.273	0.172	0.369	0.056	-0.013	-0.127	0.010	-0.068
	$P$	0.301	0.865	0.007	0.016	0.135	0.001	0.629	0.909	0.274	0.933	0.559
IVSTi	$\rho$	1.000	0.521	0.573	0.293	0.139	0.339	0.223	-0.006	-0.098	-0.188	-0.197
	$P$	<0.001	<0.001	<0.001	0.010	0.228	0.003	0.053	0.957	0.398	0.103	0.088
RWTi	$\rho$	0.521	1.000	-0.153	-0.413	-0.511	-0.072	-0.125	-0.251	0.136	0.057	0.083
	$P$	<0.001	<0.001	0.183	<0.001	<0.001	0.532	0.283	0.029	0.242	0.625	0.476
LVMi	$\rho$	0.573	-0.153	1.000	0.860	0.670	0.543	0.360	0.153	-0.333	-0.292	-0.193
	$P$	<0.001	0.183	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.186	0.003	0.011	0.094
LVEDVi	$\rho$	0.293	-0.413	0.860	1.000	0.788	0.601	0.273	0.172	-0.331	-0.282	-0.168
	$P$	0.010	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.017	0.137	0.003	0.014	0.148
LVESVi	$\rho$	0.139	-0.511	0.670	0.788	1.000	0.249	0.278	0.078	-0.269	-0.261	-0.213
	$P$	0.228	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.029	0.015	0.502	0.019	0.023	0.065
CI	$\rho$	0.339	-0.072	0.543	0.601	0.249	1.000	0.158	0.173	-0.212	-0.245	-0.096
	$P$	0.003	0.532	<0.001	<0.001	0.029	<0.001	0.173	0.134	0.066	0.033	0.408

注: IVSTi. 室间隔厚度指数; RWTi. 相对室壁厚度指数; LVMi. 左心室质量指数; LVEDVi. 左心室舒张末期容积指数; LVESVi. 左心室收缩末期容积指数; CI. 心输出量指数; IVPG3\_RE. 左心室心尖三腔心切面快速射血期室内相对压力梯度; ApL\_RE. 快速射血期下侧壁心尖段 WSS; MIL\_LS. 收缩末期下侧壁中间段 WSS; ApL\_LS. 收缩末期下侧壁心尖段 WSS; MIS\_LS. 收缩末期后侧壁中间段 WSS。

在快速射血期, ApL 的 WSS 与训练水平显著正相关; 在收缩末期, MIL 和 MIS 的 WSS 与训练水平显著负相关(表 3), 以上数据支持了本研究关于节段性 WSS 与训练水平存在相关性的假设。血流所施加的壁面剪切应力在介导内皮细胞的结构和功能方面有至关重要的作用(Sakellariou et al., 2021)。相较于静息状态, 运动诱导的壁面剪切应力有较多的肌动蛋白微丝参与, 并分泌出较高水平的一氧化氮(Wang et al., 2016)。中等强度的有氧运动通过优化的血流模式和内皮剪切应力促进一氧化氮的生成, 有助于血管结构和功能的适应(Sakellariou et al., 2021)。一项早期的基于小型猪的动物研究发现, 运动性血管生成的速度可能会暂时超过 LVM, 但随着运动的不

断持续, 血管生成与 LV 质量和结构的变化会相互平衡(White et al., 1998)。提示, 节段性 WSS 与训练水平的显著相关性运动促进血管内皮功能和心脏结构的相互适应有关, 这也为运动员在长期专业训练中通过节段性血流动力促进其心脏结构的生理性适应提供了依据。

综上所述, 优秀女子冰球运动员 LV 快速射血期 ApL 的 WSS 升高, 收缩末期 ApL、MIL 和 MIS 的 WSS 降低, 以及节段性 WSS 与训练水平和 LV 结构参数皆存在显著相关性。这些发现为运动员心脏的 LV 结构重塑与节段性血流动力相关性提供了直接证据, 提示运动员心脏节段性心肌受力不均是 LV 重构的可能诱因, 为预防优秀运动员心脏病理性改变提供了研究方向。

#### 4 研究的局限性

研究纳入了备战冬奥会的所有女子冰球运动员,但因运动项目的特殊性,样本量仍然有限,未来可通过对每年参加集中训练的运动员进行心脏功能检测来扩大样本量。VFM是基于二维超声心动图的成像技术,难以实现LV心尖二、三和四腔心切面的同步采集,可能导致相同时相下的血流动力在不同切面间存在差异,未来可借助四维磁共振成像技术进一步探索心腔内血流动力特征。

#### 5 结论

1)优秀女子冰球运动员LV结构呈生理性增大,心腔内血流动力在收缩期呈节段性优化;2)运动员在长期专业训练中通过心腔内节段性血流动力的优化促进其心脏结构的生理性适应。研究结果为运动员心脏形成的血流动力学机制提供了理论依据,关注LV节段性WSS可以为预防运动员心脏的病理性重构提供指导。

#### 参考文献:

张剑梅,白奕英,张瑞平,等. 2023. 血流向量成像技术评价优秀女子冰球运动员左心室血流动力学特征研究[J]. 体育科学, 43(10): 66-72.

ARVIDSSON P M, TOGER J, CARLSSON M, et al., 2017. Left and right ventricular hemodynamic forces in healthy volunteers and elite athletes assessed with 4D flow magnetic resonance imaging[J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 312(2): H314-H328.

ARZANI A, SHADDEN S C, 2018. Wall shear stress fixed points in cardiovascular fluid mechanics[J]. *J Biomech*, 73: 145-152.

BALLO P, MONDILLO S, GUERRINI F, et al., 2004. Midwall mechanics in physiologic and hypertensive concentric hypertrophy[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 17(5): 418-427.

ÇÖLLÜOĞLU T, ÖNALAN O, ÇAKAN F, 2021. The diagnostic value of 2D-speckle tracking echocardiography for identifying sub-clinical ventricular dysfunction in subjects with early repolarization pattern[J]. *Echocardiography*, 38(7): 1141-1148.

D'ASCENZI F, PISICCHIO C, CASELLI S, et al., 2017. RV remodeling in Olympic athletes[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 10(4): 385-393.

D'ASCENZI F, BIELLA F, LEMME E, et al., 2020. Female athlete's heart: Sex effects on electrical and structural remodeling[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 13(12): e011587 [2024-02-18]. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.120.011587>.

ERIKSSON J, BOLGER A F, EBBERS T, et al., 2016. Assessment of left ventricular hemodynamic forces in healthy subjects and patients with dilated cardiomyopathy using 4D flow MRI [J]. *Physiol Rep*, 4(3): e12685 [2024-02-18]. <https://doi.org/10.14814/phy2.12685>.

FERRARI S, PESCE M, 2019. Cell-based mechanosensation, epigenetics, and non-coding RNAs in progression of cardiac fibrosis[J]. *Int J Mol Sci*, 21(1): 28 [2024-02-18]. <https://doi.org/10.3390/ijms21010028>.

GAASCH W H, MEYER T E, 2008. Left ventricular response to mitral regurgitation: Implications for management [J]. *Circulation*,

118(22): 2298-2303.

HATOUM H, MOORE B L, DASI L P, 2018. On the significance of systolic flow waveform on aortic valve energy loss[J]. *Ann Biomed Eng*, 46(12): 2102-2111.

HU Y L, LIN L, ZHANG L, et al., 2024. Identification of circulating plasma proteins as a mediator of hypertension-driven cardiac remodeling: A mediation mendelian randomization study [J]. *Hypertension*, 81(5): 1132-1144 [2024-04-06]. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.123.22504>.

ITATANI K, MIYAZAKI S, FURUSAWA T, et al., 2017. New imaging tools in cardiovascular medicine: Computational fluid dynamics and 4D flow MRI [J]. *Gene Thorac Cardiovasc Surg*, 65(11): 611-621.

JI L, HU W Z, YONG Y H, et al., 2018. Left ventricular energy loss and wall shear stress assessed by vector flow mapping in patients with hypertrophic cardiomyopathy[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 34(9): 1383-1391.

LACOMBE P, JOSE A, BASIT H, et al., 2023. Physiology, startling relationships [M]//STATPEARLS. Treasure Island (FL) ineligible companies: StatPearls Publishing.

LANG R M, BADANO L P, MOR-AVI V, et al., 2015. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: An update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 28(1): 1-39.

MENG Q G, WANG S J, YAN S J, et al., 2020. Evaluating the left ventricular hemodynamic phenomena of DDD septum pacemaker implants using vector flow mapping[J]. *Echocardiography*, 37(1): 77-85.

NAKAJIMA Y, HOZUMI T, TAKEMOTO K, et al., 2021. Noninvasive estimation of impaired left ventricular untwisting velocity by peak early diastolic intra-ventricular pressure gradients using vector flow mapping[J]. *J Echocardiogr*, 19(3): 166-172.

OPTHOF T, REMME C A, JORGE E, et al., 2017. Cardiac activation-repolarization patterns and ion channel expression mapping in intact isolated normal human hearts [J]. *Heart Rhythm*, 14(2): 265-272.

SAKELLARIOU X M, PAPAFAKLIS M I, DOMOUZOGLOU E M, et al., 2021. Exercise-mediated adaptations in vascular function and structure: Beneficial effects in coronary artery disease[J]. *World J Cardiol*, 13(9): 399-415.

SANTORO A, ALVINO F, ANTONELLI G, et al., 2014. Endurance and strength athlete's heart: Analysis of myocardial deformation by speckle tracking echocardiography [J]. *J Cardiovasc Ultrasound*, 22(4): 196-204.

STUGAARD M, KORIYAMA H, KATSUKI K, et al., 2015. Energy loss in the left ventricle obtained by vector flow mapping as a new quantitative measure of severity of aortic regurgitation: A combined experimental and clinical study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 16(7): 723-730.

SZENTADRASSY N, BANYASZ T, BIRO T, et al., 2005. Apical-basal inhomogeneity in distribution of ion channels in canine and human ventricular myocardium[J]. *Cardiovasc Res*, 65(4): 851-860.

TAHIR E, STAREKOVA J, MUELLERLEILE K, et al., 2018. Myocardial fibrosis in competitive triathletes detected by contrast-en-

- hanced CMR correlates with exercise-induced hypertension and competition history [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 11(9): 1260-1270.
- TANAKA T, OKADA T, NISHIYAMA T, et al., 2017. Relative pressure imaging in left ventricle using ultrasonic vector flow mapping [J/OL]. *Jpn J Appl Phys*, 56(7): 26 [2024-02-18]. <https://iopscience.iop.org/article/10.7567/JJAP.56.07JF26>.
- WANG Y X, XIANG C, LIU B, et al., 2016. A multi-component parallel-plate flow chamber system for studying the effect of exercise-induced wall shear stress on endothelial cells [J/OL]. *Biomed Eng Online*, 15 (Suppl 2): 154 [2024-02-18]. <https://doi.org/10.1186/s12938-016-0273-z>.
- WHITE F C, BLOOR C M, MCKIRNAN M D, et al., 1998. Exercise training in swine promotes growth of arteriolar bed and capillary angiogenesis in heart [J]. *J Appl Physiol*(1985), 85(3): 1160-1168.
- YANG P, ZHANG J M, XUE J, et al., 2023. Time domain adaptation of left ventricular diastolic intraventricular pressure in elite female ice hockey athletes [J/OL]. *Front Cardiovasc Med*, 10: 1057129 [2024-02-18]. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1057129>.

## Characteristics of Left Ventricular Segmental Hemodynamics Evaluated by Wall Shear Stress in Elite Female Ice Hockey Athletes

YANG Ping<sup>1</sup>, ZHANG Jianmei<sup>2\*</sup>, XUE Jun<sup>3</sup>, ZHANG Ruiping<sup>2</sup>, LI Rui<sup>1</sup>, CHEN Yiping<sup>4</sup>, HE Benxiang<sup>1</sup>

1. Postdoctoral Mobile Station of Sports Science, Chengdu Sport University, Chengdu 610041, China;

2. Sports Medical Supervision Research Center, National Institute of Sports Medicine, Beijing 100061, China;

3. National Emergency Medical Research Center, Emergency General Hospital, Beijing 100028, China;

4. School of Sport Medicine and Rehabilitation, Beijing Sport University, Beijing 100084, China

**Abstract:** Objective: To investigate the intraventricular segmental hemodynamics of the left ventricle in elite female ice hockey athletes. Methods: 53 female ice hockey athletes (27 elite athletes and 26 low-level athletes) and 24 healthy subjects were recruited in this study. The two-dimensional structure of the left ventricle (LV), intraventricular relative pressure difference (IVPD) and segmental wall shear stress (WSS) in LV apical two-, three-, and four-chamber view were noninvasively measured by using vector flow mapping based on echocardiography. The differences of WSS at the time phase of peak IVPD during the rapid ejection, late systole and rapid filling among groups, and the correlations between WSS, training level, and LV structural parameters were analyzed. Results: 1) The LV mass index (LVMI), LV end diastolic volume index (LVEDVi) and LV end systolic volume index (LVESVi) in elite female ice hockey athletes were significantly higher than that of controls, but the relative wall thickness index (RWTi) was significantly lower in elite female ice hockey athletes compared with control group. 2) During the rapid ejection phase, the WSS of apical lateral (ApL) segment was significantly higher in elite female athletes than that of low-level athletes ( $P=0.029$ ). During the late systole phase, WSS of ApL segment ( $P=0.005$ ) and mid inferolateral (MIL  $P=0.008$ ) segment were significantly lower in elite female athletes than those of low-level athletes; in addition, the WSS in the mid inferoseptal (MIS) segment was significantly lower in elite female athlete than that of low-level athletes ( $P=0.027$ ) and controls ( $P=0.046$ ). 3) The WSS of ApL segment during rapid ejection was negatively correlated with RWTi, and positively correlated with training level. The WSS of ApL and MIL segments during late systole phase appeared negatively correlated with LVMI, LVEDVi and LVESVi; the WSS of MIL and MIS segments during late systole phase were negatively correlated with training level. Conclusions: 1) The LV structure of elite female ice hockey athletes is physiologically enlarged, and the intraventricular hemodynamics were optimized segmentally during systole; 2) long-term professional training promotes the physiological adaptation of athletes' heart structure through segmental hemodynamics. The results can provide theoretical basis for the hemodynamic mechanism of the formation of athlete's heart, and provides references for the prevention of the development of pathological remodeling in athletes' heart.

**Keywords:** ice hockey; intraventricular hemodynamics; wall shear stress; intraventricular pressure gradient; training

## 应急总医院图书馆检索结果

标题	作者	期刊名称	出处	期刊ISSN	影响因子	作者信息
壁面剪切应力评价优秀女子冰球运动员左心室节段性血流动力学特征	杨萍, 张剑梅, 薛军, 张瑞平, 李睿, 陈义萍, 何本祥	体育科学	刊名: 体育科学 出版日期: 2024 卷号: 第44卷 期号: 第5期 页码: 62-71	1000-677X	5.93 (2024年)	张剑梅, 应急总医院心血管内科
血流量成像技术评价优秀女子冰球运动员左心室血流动力学特征研究	张剑梅, 白美英, 张瑞平, 杨萍, 范煜东	体育科学	刊名: 体育科学 出版日期: 2023 卷号: 第43卷 期号: 第10期 页码: 66-72	1000-677X	5.93 (2023年)	张剑梅, 应急总医院心血管内科



青少年心血管健康科普丛书

HEHU NIDE  
XIAOXINZANG



# 呵护你的 小心脏

国家体育总局青少年体育司 编  
国家体育总局运动医学研究所



人民教育出版社

# 呵护你的 小心脏

责任编辑/李凡

文字编辑/郭树红

封面设计/王军

关注人民体育出版社更多图书请扫码



微信官方公众号



京东官方专营店



微店官方旗舰店

ISBN 978-7-5009-6386-8



9 787500 963868 >

定价：19.90元

图书在版编目 ( CIP ) 数据

呵护你的小心脏 / 国家体育总局青少年体育司, 国家体育总局运动医学研究所编. -- 北京: 人民体育出版社, 2023 ( 2025.4 重印 )

( 青少年心血管健康科普丛书 )

ISBN 978-7-5009-6386-8

I . ①呵… II . ①国… ②国… III . ①心脏血管疾病—防治—青少年读物 IV . ① R54-49

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 228003 号

\*

人民体育出版社出版发行  
北京盛通印刷股份有限公司印刷  
新华书店经销

\*

710 × 1000 16 开本 3.75 印张 50 千字  
2023 年 11 月第 1 版 2025 年 4 月第 2 次印刷

\*

ISBN 978-7-5009-6386-8

定价: 19.90 元

---

社址: 北京市东城区体育馆路 8 号 ( 天坛公园东门 )

电话: 67151482 ( 发行部 )

邮编: 100061

传真: 67151483

邮购: 67118491

网址: [www.psphpress.com](http://www.psphpress.com)

( 购买本社图书, 如遇有缺损页可与邮购部联系 )

## 编委会

### 主 编

张 霞 国家体育总局运动医学研究所

张剑梅 国家体育总局运动医学研究所

### 副主编

贾 娜 北京医院

韩历丽 北京妇幼保健院

邵 晶 国家体育总局运动医学研究所

### 参 编

安 楠 国家体育总局运动医学研究所

厉彦虎 国家体育总局运动医学研究所

徐 杰 国家体育总局青少年体育司

薛 军 应急总医院

侯明飞 沈阳市浑南区第九小学

黄伟红 中南大学湘雅医院

张 璐 国家体育总局训练局

夏辰兮 北京医院

张瑞平 国家体育总局运动医学研究所

课题任务书编号	密级
首发 2026-3-6031	

## 首都卫生发展科研专项项目 任务书

(试行)

项目名称:便携式多模态生理监测工具在首都基层消防站点急性心血管  
风险快速筛查中的应用研究

专业类别: 西医

项目类型: 基层普及

承担单位: 应急总医院

项目负责人: 张剑梅

联系人: 张剑梅

联系电话: [REDACTED]

起止年限: 2026年01月至2028年12月

北京市卫生健康委员会

二〇二六年三月



### 项目信息表

项目中文名称		便携式多模态生理监测工具在首都基层消防站点急性心血管风险快速筛查中的应用研究										
项目英文名称		Application Study of Portable Multi-Modal Physiological Monitoring Tools in Rapid Screening of Acute Cardiovascular Risk at Grassroots Fire Stations in the Capital										
申报指南代码		职业病和职业卫生-基层普及										
项目申报单位	名称	应急总医院										
	通讯地址	北京市朝阳区西坝河南里 29 号						邮编	100028			
	单位类别	中央所属医疗机构	中央所属			组织机构代码	87[REDACTED]					
	单位性质	差额拨款单位										
单位上级主管部门		应急管理部										
合作单位	序号	单位名称										
	1	国家体育总局运动医学研究所										
负责人	姓名	张剑梅	性别	女	出生年月	1975 年 07 月						
	职称	主任医师										
	联系电话	[REDACTED]				E-mail	[REDACTED]					
项目负责人	姓名					性别						
	职称	无										
	联系电话					E-mail						
项目组成员	总人数	12 人	高级	7 人	中级	3 人	初级	0 人	其他	2 人		
投入人月数	76 人月 (本课题满月度工作量人员数)											
起始时间	2026 年 01 月				终止时间	2028 年 12 月						
项目活动类型	应用基础研究											
预期成果	专利											
经费预算	19.5 万元				专项经费	15 万元						
					自筹经费	4.5 万元						
					其他经费	0 万元						



项目摘要 (400字以内)			
------------------	--	--	--

关键词：(5个以内)			
------------	--	--	--

研究分工	研究内容	里程碑式目标	完成时间
------	------	--------	------

张剑梅			
-----	--	--	--

--	--	--	--



rSO<sub>2</sub>、RPP 作为核心评估参数，提前识别心血管高风险个体，实现“预防 - 干预 - 康复”全周期管理。

### 3.3 相关行业标准制定与技术推广

研究成果可推动《消防员低氧作业安全预警技术规范》《特殊职业人群复合应激生理监测指南》等标准制定，填补国内外特殊职业复合应激预警领域的标准空白。

此外，研究构建的“多模态监测 + 亚群预警”模式可推广至其他高风险职业（如矿山救援、高原作业人员），为同类职业人群的职业健康防护提供可复制、可借鉴的技术方案，助力我国职业健康保障体系完善，契合《“健康中国 2030”规划纲要》中“加强重点人群健康保障”的战略要求。

### 4. 其他应考核的指标

软件著作权：获取“消防员心血管风险预警数据分析系统”软件著作权 1 项。

## 四、课题年度计划及年度目标

年度	负责人	时间 (年、月)	研究内容	预期目标	考核指标 (量化)
第一年	张剑梅				
第二年	张剑梅				
第三年	张剑梅				

## 五、课题经费来源与支出预算

1、课题经费来源：					单位：万元
来源	2026 年	2027 年	2028 年	合计	
市财政科技经费	7.5	7.5	0	15	



其他来源	国家有关部委拨款	0	0	0	0
	课题承担单位自筹经费	0	0	0	4.5
	其他	1.5	3	0	0
合计		9	10.5	0	19.5

2、课题经费支出：

单位：万元

(1)、课题经费支出预算：

科目	经费来源	2026年	2027年	2028年	合计
设备费	市财政科技经费	0.0	0.0	0.0	0.0
	其他来源	0.0	0.0	0.0	
材料支出	市财政科技经费	0.0	0.0	0.0	0.0
	其他来源	0.0	0.0	0.0	
测试化验加工支出	市财政科技经费	3.0	3.0	0.0	6.0
	其他来源	0.0	0.0	0.0	
燃料动力支出	市财政科技经费	0.0	0.0	0.0	0.0
	其他来源	0.0	0.0	0.0	
差旅/会议/国际合作与交流支出	市财政科技经费	0.025	0.0	0.0	0.025
	其他来源	0.0	0.0	0.0	
档案/出版/文献/信息传播/知识产权事务支出	市财政科技经费	0.5	0.0	0.0	1.0
	其他来源	0.5	0.0	0.0	
咨询支出	市财政科技经费	0.0	0.0	0.0	0.0
	其他来源	0.0	0.0	0.0	
其他支出	市财政科技经费	0.0	0.0	0.0	0.0
	其他来源	0.0	0.0	0.0	
业务费分项小计	市财政科技经费	3.525	3.0	0.0	7.025
	其他来源	0.5	0.0	0.0	
劳务费	市财政科技经费	1.0	3.5	0.0	8.0



	其他来源	1.0	2.5	0.0	
直接经费小计	市财政科技经费	4.525	6.5	0.0	15.025
	其他来源	1.5	2.5	0.0	
间接经费	市财政科技经费	2.975	1.0	0.0	4.475
	其他来源	0.0	0.5	0.0	
其中，绩效支出	市财政科技经费	2.0	1.0	0.0	3.0
	其他来源	0.0	0.0	0.0	
分项合计	市财政科技经费	7.5	7.5	0	15
	其他来源	1.5	3	0	4.5
合计		9	10.5	0	19.5

2. 设备购置费用明细：（设备费不能超过专项经费 10%）

名称	型号	数量	金额	资金来源	购买时间	主要用途

六、合作单位任务分工及经费分配

（如无合作单位，可不填写，如有合作单位，还需提供合作意向书（需盖章）作为附件）

合作单位	任务分工	经费分配	合作意向书
国家体育总局运动医学研究所	数据收集	1.5 万元	合作协议—运医所—盖章扫描.pdf

其他附件：



七、项目组成员

负责人									
姓名	性别	年龄	职务/职称	业务专业	任务分工	为本项目 工作时间 (月)	所在单位	身份证号	签字
张剑梅	女	50	主任医师	心血管与循环系统疾病 (内科)	统筹规划	10	应急总医院	██████████	张剑梅
主要研究人员									
姓名	性别	年龄	职务/职称	业务专业	任务分工	为本项目 工作时间 (月)	所在单位	身份证号	签字
杨萍	女	40	副教授	职业病和职业卫生	数据分析	6	应急总医院	██████████	杨萍
张苗苗	女	43	副主任	心血管与循	资料收集	6	应急总医院	██████████	张苗苗



## 八、签署意见及承诺

1. 单位学术委员会意见

同意立项



2. 单位伦理委员会意见（涉及伦理问题须单位伦理委员会讨论并出具审查意见复印件）

同意



## 九、任务书签订各方签章

甲方：北京市卫生健康委员会（公章）

负责人（签字/签章）：

年 月 日

乙方：项目承担单位一（公章）

项目承担单位二（公章）

负责人（签字/签章）：

负责人（签字/签章）：

项目负责人（签字/签章）：

项目负责人（签字/签章）：

2026年6月8日



## 2026 年度首都卫生发展科研专项合作协议书

甲方（项目牵头单位）：应急总医院

法定代表人：吴迪

通讯地址：北京市朝阳区西坝河南里 29 号

乙方（项目参与单位）：国家体育总局运动医学研究所体育医院

法定代表人：张霞

通讯地址：北京市东城区体育馆路甲 2 号旁门

根据《中华人民共和国民法典》、《中华人民共和国专利法》、《中华人民共和国著作权法》、《中华人民共和国保守国家秘密法》、《科学技术保密规定》等相关法律法规，以 2026 年度首都卫生发展科研专项工作的安排，项目牵头单位与参与单位之间本着相互合作的精神，就项目合作过程中涉及的内容自愿达成如下协议：

### （一）该协议的适用范围及完成时间：

1. 本协议仅限于双方共同开展便携式多模态生理监测工具在首都基层消防站点急性心血管风险快速筛查中的应用研究项目。

2. 协议期限：协议签订之日起至 2028 年 12 月 31 日。

### （二）单位任务分工：

1. 甲方负责牵头组织项目的申请、执行、经费管理、进展和结题汇报工作，研究任务负责人：张剑梅。

2. 乙方在本项目任务中负责协助完成数据收集等工作，乙方研究任务负责人：张瑞平。乙方任务具体内容和验收标准以项目任务书为准，项目任务书作为本协议附件。

### （三）经费分配

#### 1. 经费分配依据和比例

项目市财政专项经费资助金额 15 万元，甲方享有资助金额 13.5 万元，乙方享有资助金额 1.5 万元。

#### 2. 经费支付形式和时间

财政经费由甲方根据项目执行情况及进度安排，甲方财政经费到账后 30 日内，按照到账比例拨付给乙方财政经费，乙方应在甲方拨付经费前向甲方开具符合甲方要求的发票，否则甲方有权延期付款且甲方不承担违约责任。

3. 在课题实施过程中，乙方应严格按照《首都卫生发展科研专项资金管理办法》相关规定管理和使用经费。按照课题任务书约定，乙方按以下经费预算支出：

序号	预算科目名称	金额
1	一、市财政专项经费	1.5
2	（一）直接费用	0.5
3	1. 设备费	
4	其中：购置设备费	
5	2. 业务费	0.2
6	3. 劳务费	0.3
7	（二）间接费用	1.0
8	二、其他来源资金	0.00
9	三、合计	1.50

如预算确有必要调整时，乙方应严格按照《首都卫生发展科研专项资金管理办法》履行相关程序，待预算调整完成后方可按照新预算执行。待课题资助期满，乙方应以预算为基础及时向甲方提交财务支出明细及决算。

#### （四）知识产权管理

在课题执行过程中涉及到的信息公开与分享、科研成果处理、知识产权申请与转让、奖励申报和收益分享等事宜按照以下约定执行，本协议未尽之处，应采取“一事一议”的方式签订补充协议：

1. 课题执行期间，双方承诺尽最大可能互为提供资料数据，共享研究成果，但相关资料和数据仅限于各方的研究目的，任何一方都不得将披露方未公开的材料和资料向其他方转移和泄露。无论本协议是否变更、解除或终止，本条款长期有效。

2. 双方在课题执行日之前各自所获得的知识产权及相应权益均归各自所有，

不因共同合作本课题而改变。

3. 在课题执行过程中，各方应对科技成果及时采取知识产权保护措施，并按照首都卫生发展科研专项管理办法知识产权管理相关规定决定归属。独自完成的科技成果及获得的知识产权归各方独自所有，相关成果被授予的奖励归各方独自所有。各方共同完成的科技成果及其形成的知识产权归各方共有，共同享有知识产权所有权，相关成果获得的荣誉和奖励归完成各方共有，排名顺序按照各方贡献大小协商确定。

4. 共有知识产权专利权的申请及转让以及其他共有知识产权所有权的转让需要各方共同同意，并另行签署书面协议，明确约定归属和收益共享方式。无论是独有还是共有的相关知识产权权属的转让，课题各参与方有以同等条件优先受让的权利。

5. 根据首都卫生发展科研专项管理办法的具体要求，课题形成的相关研究成果，如论文、专著等，应进行妥善标注。

6. 按照首都卫生发展科研专项管理办法的有关规定和具体要求，乙方根据任务书要求，分别在课题验收前、年度或中期检查时，以及课题过程中提交相关报告。甲方结合乙方完成情况，在课题验收前提交全面描述研究过程和技术内容的最终科技报告，在课题年度或中期检查时提交描述本年度研究过程和进展的年度技术进展报告，以及在课题实施过程中提交包含科研活动细节及基础数据的专题科技报告。

7. 乙方承诺本课题研究产生的所有科学数据无条件汇交到北京市卫生健康委员会指定平台。承诺本项目汇交的数据真实、准确、完整、有效，无学术不端和学术失范行为，并承担因数据不真实等问题带来的一切后果和法律责任。

8. 乙方如涉及人类遗传资源采集、保藏、利用、对外提供等，须遵照《中华人民共和国人类遗传资源管理条例》相关规定执行。涉及人体研究需按照规定通过伦理审查并签署知情同意书。涉及实验动物和动物实验，要遵守国家实验动物管理的法律、法规、技术标准及有关规定，使用合格实验动物，在合格设施内进行动物实验，保证实验过程合法，实验结果真实、有效，并通过实验动物福利和伦理审查。

#### （五）违约责任

1. 根据任务书约定，乙方负有按时完成各自任务并达到相关考核指标的义务。如乙方研究进展滞后，甲方有权督促乙方加快进度；出现进展严重滞后并影响课题甚至整个项目考核指标完成的情况，甲方报批专业机构后，有权缓拨、停拨、甚至追缴部分或全部课题经费。

2. 乙方为完成任务书规定研究任务的支出，超出乙方预算的部分由乙方自行承担。若甲方未能按时向乙方拨付经费经乙方书面催告后7个工作日内仍未支付的，乙方有权中止履行相关义务。

3. 违反本协议第四条关于科研成果和知识产权申请和权属等约定，在甲方或有关部门调解无法达成谅解的情况下，项目各方均有权通过法律途径（即向甲方所在地的人民法院起诉）追究违约方责任。如因违约方的行为给守约方造成损失的，违约方承担相应的赔偿责任。但相关纠纷不作为影响项目研发进度的理由。

4. 课题因难以克服的技术挑战或无法预见的客观条件变化而无法达到预期考核指标的情况，应及时通知项目牵头单位，及时报告专业机构申请调整，责任和损失由各方协商共同决定承担方式。因责任方未及时通知项目牵头单位造成的额外损失，由相关责任方自行承担。

5. 乙方因不可抗力不能履行义务时，不视为该方违约，但应及时通知项目牵头单位，并按相关流程及时报告专业机构。在出现不可抗力的情况下，各方均采取适当措施减轻损失。因遭受不可抗力一方未及时采取应对措施或通知项目牵头单位而造成的额外损失，由该方自行承担。

#### （六）课题过程管理及验收

1. 双方应积极配合专业机构对项目 and 课题执行的过程管理和验收，项目牵头单位和甲方应采取召开会议、报告进展等方式协调和促进项目和课题的执行。

2. 双方应严格按照首都卫生发展科研专项管理的相关规定和办法执行课题预算，保证任务书规定的研究任务按时完成，并达到相应考核指标。

#### （七）其它

1. 本协议经双方法定代表人或授权代表签字并加盖公章后生效。本协议一式四份，甲乙双方各持两份，均具有同等法律效力。

2. 未经对方许可，甲乙双方都不得将本协议内容透露给第三方，保密期限为项目结题后3年。

3. 合作各方因履行本合同发生的争议，应协商、调解解决。若协商、调解不成，以提交甲方住所地有管辖权的人民法院通过诉讼方式处理。

4. 本合同未尽事宜，双方应本着互惠互利、友好协商的原则另行约定，并以备忘录或附件的形式体现。

5. 本协议的备忘录或者附件与本协议具有同等的法律效力。



法定代表人或授权代表 (签字)：



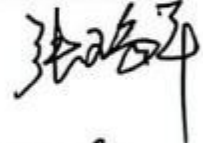
法定代表人或授权代表 (签字)：



甲方项目 (任务) 负责人 (签字)：



乙方项目 (任务) 负责人 (签名)：



2016年3月19日

2016年3月19日

课题编号：

密级：公开

## 国家科技重大专项 课题任务书

课题名称： 儿童肥胖防控运动干预

所属项目名称： 运动干预模式和肥胖防控的临床研究

所属重大专项： 癌症、心脑血管、呼吸和代谢性疾病防治研究

重大专项管理机构： 国家卫生健康委医药卫生科技发展研究中心

课题牵头承担单位： 首都医科大学附属北京儿童医院 (公章)

课题负责人： 闫银坤

执行期限： 2024年08月至2028年07月

中华人民共和国科学技术部制

2024年09月13日



# 课题基本信息表

课题名称	儿童肥胖防控运动干预					
课题编号	[REDACTED]					
所属项目名称	运动干预模式和肥胖防控的临床研究					
项目编号	[REDACTED]					
所属重大专项	癌症、心脑血管、呼吸和代谢性疾病防治研究					
密级	<input checked="" type="checkbox"/> 公开		单位总数	6		
课题成果技术就绪度	<input type="checkbox"/> 发现基本原理 <input type="checkbox"/> 形成技术方案 <input type="checkbox"/> 方案通过验证 <input type="checkbox"/> 形成单元并验证 <input type="checkbox"/> 形成分系统并验证 <input type="checkbox"/> 形成原型并验证 <input type="checkbox"/> 现实环境的应用验证 <input type="checkbox"/> 用户验证认可 <input checked="" type="checkbox"/> 得到推广应用					
课题成果应用的主要国民经济行业	综合医院					
课题的社会经济目标	卫生事业发展 诊断与治疗					
经费预算	总预算1005.00万元，其中中央财政255.00万元，地方财政资金0.00万元，单位自筹资金750.00万元，其他渠道获得资金0.00万元					
课题周期节点	起始时间	2024年08月		结束时间	2028年07月	
	实施周期	共48个月		预计中期时间点	2026年08月	
课题牵头单位	单位名称	首都医科大学附属北京儿童医院		单位法定代表人姓名	倪鑫	
	单位性质	其他事业单位		组织机构代码	[REDACTED]	
	单位主管部门			隶属关系	地方	
	单位所属地区	北京市		北京市	西城区	
	通信地址	北京市西城区南礼士路56号		邮政编码	100045	
	单位开户名称	首都医科大学附属北京儿童医院				
	开户银行(全称)	北京银行阜成支行		汇入地点	北京市	
	银行账号	[REDACTED]		行机构代码		
课题负责人	姓名	闫银坤	性别	<input checked="" type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女	出生日期	1985-12-08
	证件类型	身份证	证件号码	[REDACTED]		



	所在单位	首都医科大学附属北京儿童医院				
	最高学位	<input checked="" type="checkbox"/> 博士 <input type="checkbox"/> 硕士 <input type="checkbox"/> 学士 <input type="checkbox"/> 其他				
	职称	<input type="checkbox"/> 正高级 <input checked="" type="checkbox"/> 副高级 <input type="checkbox"/> 中级 <input type="checkbox"/> 初级 <input type="checkbox"/> 其他			职务	科室主任
	电子邮箱	[REDACTED]		移动电话	[REDACTED]	
课题联系人	姓名	齐千瑾	电子邮箱	[REDACTED]	du. cn	
	固定电话		移动电话	[REDACTED]		
	证件类型	身份证	证件号码	[REDACTED]		
课题财务负责人	姓名	汪萍萍	电子邮箱	[REDACTED]	. com	
	固定电话		移动电话	[REDACTED]		
	证件类型	身份证	证件号码	[REDACTED]		
其他参与单位	序号	单位名称	专项经费（万元）	单位性质	组织机构代码	
	2	西安交通大学第一附属医院	45.00	其他事业单位	[REDACTED]	
	3	国家体育总局运动医学研究所	22.50	事业型研究单位	[REDACTED]	
	4	北京大学	22.50	大专院校	[REDACTED]	
	5	北京体育大学	15.00	大专院校	[REDACTED]	
	6	北京汉方健康科技有限公司	15.00	私营企业	[REDACTED]	
课题参加人数	25人。其中：		高级职称10人，中级职称2人，初级职称0人，其他13人；			
			博士学位8人，硕士学位10人，学士学位7人，其他0人。			
课题简介（限500字以内）	[REDACTED]					

**填表说明：** 1. 组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位统一社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”；  
 2. 单位公章名称必须与单位名称一致；  
 3. 单位开户名称应与单位名称一致，如有开户名称不一致等特殊情况的，必须提供证明文件。



## 九、课题参加人员基本情况表

**填表说明：** 1、专业技术职称：A、正高级 B、副高级 C、中级 D、初级 E、其他；  
 2、投入本课题的全时工作时间（人月）是指在课题实施期间该人总共为课题工作的满月度工作量；累计是指课题组所有人员投入人月之和；  
 3、课题固定研究人员需填写人员明细；  
 4、是否有工资性收入：Y、是 N、否；  
 5、人员分类代码： B、课题负责人 C、项目/课题骨干 D、其他研究人员；  
 6、工作单位：填写单位全称，其中高校要具体填写到所在院系。

序号	姓名	性别	出生日期	证件类型	证件号码	专业技术职称	职务	最高学位	专业	投入本课题的全时工作时间（人月）	人员分类代码	在课题中分担的任务	是否有工资性收入	工作单位
1	闫银坤	男	1985-12-08	身份证		B	科室主任	博士	儿童慢病管理	36	B	儿童肥胖防控运动干预	Y	首都医科大学附属北京儿童医院
2	米杰	女	1961-06-12	身份证		A	科室名誉主任	博士	儿童慢病管理	16	C	研究方案指导和设计	Y	首都医科大学附属北京儿童医院
3	张剑梅	女	1975-07-29	身份证		A	运动医学监督研究中心副处长	硕士	心血管内科	16	C	研究方案指导及设计	Y	国家体育总局运动医学研究所
4	董彬	男	1984-01-03	身份证		A	副所长	博士	儿少卫生与妇幼保健学	16	C	研究方案指导及设计	Y	北京大学公共卫生学院
5	赵亚玲	女	1972-10-11	身份证		B	无	博士	流行病学与卫生统计学	24	C	项目分中心协调管理	Y	西安交通大学第一附属医院
6	严翊	女	1976-06-22	身份证		A	无	博士	运动人	16	C	研究方案指	Y	北京体育大学



累计	632	/	/	/	/
----	-----	---	---	---	---

禁止法申报资料



## 十、经费预算

### 课题（2023ZD0508505）承担单位基本情况表

表B1

<p>填表说明：1. 组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位统一社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”； 2. 单位公章名称必须与单位名称一致； 3. 单位开户名称应与单位名称一致，如有开户名称不一致等特殊情况的，必须提供证明文件。</p>				
课题 牵头 单位	单位名称	首都医科大学附属北京儿童医院		
	单位性质	其他事业单位		
	单位主管部门		隶属关系	地方
	单位组织机构代码	[REDACTED]		
	单位法定代表人姓名	倪鑫		
	单位开户名称	首都医科大学附属北京儿童医院		
	开户银行（全称）	北京银行阜成支行	汇入地点	北京市
	银行账号	[REDACTED]		
	单位所属地区	北京市	北京市	西城区
	电子邮箱	kyc-bch@vip.sina.com		
	通信地址	北京市西城区南礼士路56号		
邮政编码	100045			
相关 责任 人	课题负责人	姓名	闫银坤	
		身份证号码	[REDACTED]	
		工作单位	首都医科大学附属北京儿童医院	
		电话号码	[REDACTED]	
	电子邮箱	[REDACTED]		
	通信地址	北京市西城区南礼士路56号		
	课题财务负责人	姓名	汪萍萍	
		身份证号码	[REDACTED]	
电话号码		[REDACTED]		
电子邮箱		[REDACTED]		



## 课题预算表

表B1 课题编号：2023ZD0508505 课题名称：儿童肥胖防控运动干预 金额单位：万元

序号	预算科目名称	金额
	(1)	(2)
1	<b>一、中央财政专项资金</b>	255.00
2	（一）直接费用	197.00
3	1. 设备费	0.00
4	其中：购置设备费	0.00
5	2. 业务费	145.70
6	3. 劳务费	51.30
7	（二）间接费用	58.00
8	<b>二、其他来源资金</b>	750.00
9	<b>三、合计</b>	1005.00

注：1、间接费用无需编制预算说明；2、间接费用无需编制预算说明，实行总额控制，按照不超过直接费用扣除设备购置费后的一定比例核定。具体比例如下：①500万元及以下部分为不超过30%；②超过500万元至1000万元的部分为不超过25%；③超过1000万元以上的部分为不超过20%。3、绩效支出在间接费用中无比例限制。课题承担单位在统筹安排间接费用时，要处理好合理分摊间接成本和对科研人员激励的关系，绩效支出安排与科研人员在课题工作中的实际贡献挂钩。



## 设备费——购置/试制设备预算明细表

表 B2 课题编号：2023ZD0508505

课题名称：儿童肥胖防控运动干预

金额单位：万元

填表说明：1. 设备分类：购置、试制； 2. 购置设备类型：通用、专用； 3. 试制设备不需填列表（9）列、（10）列、（11）列、（12）列； 4. 设备单价的单位为万元/台套，设备数量的单位为台套； 5. 单价50万元以下的设备不用填写； 6. 本表只填写中央财政资金购置（试制）的设备。												
序号	设备名称	设备分类	功能和技术指标	单价	数量	金额	购置或试制单位	安置单位	购置设备类型	主要生产厂 家及国别	规格型号	拟开放共享范围
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
	单价50万元以上购置设备合计				0	0.00	/	/	/	/	/	/
	单价50万元以上试制设备合计				0	0.00	/	/	/	/	/	/
	累计				0	0.00	/	/	/	/	/	/



## 课题单位经费预算明细表

表 B4

课题编号：2023ZD0508505

课题名称：儿童肥胖防控运动干预

金额单位：万元

填表说明：1.单位类型分课题牵头承担单位、课题参与单位；

2.组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位统一社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”。

序号	单位名称	组织机构代码-统一社会信用代码		单位类型	任务分工	研究任务负责人	合计	中央财政专项资金		其他来源资金
		(2)	(3)					小计	其中：间接费用	
1	首都医科大学附属北京儿童医院	统一社会信用代码		头单位	负责课题研究方案的总体设计，统筹现场组织、协调与实施	闫银坤	435.00	135.00	30.50	300.00
2	西安交通大学第一附属医院	统一社会信用代码		与单位	协助制定运动干预方案，参与多中心儿童肥胖干预	赵亚玲	45.00	45.00	10.50	0.00
3	国家体育总局运动医学研究所	统一社会信用代码		与单位	协助制定运动干预方案，参与多中心儿童肥胖干预	张剑梅	22.50	22.50	5.00	0.00
4	北京大学	统一社会信用代码		与单位	协助制定运动干预方案，参与多中心儿童肥胖	董彬	22.50	22.50	5.00	0.00



					干预					
5	北京体育大学	统一社会信用代码		参与单位	协助制定运动干预方案，参与多中心儿童肥胖干预	严翊	15.00	15.00	3.50	0.00
6	北京汉方健康科技有限公司	统一社会信用代码		参与单位	提供配套基金，建立数据平台，提供课题实施过程中的技术支持	徐磊	465.00	15.00	3.50	450.00
累计							1005.00	255.00	58.00	750.00



## 预算说明

### 一、中央财政资金

预算的编制要坚持任务相关性、政策相符性和经济合理性，实事求是编制提出课题预算。填报时，直接费用应按设备费、业务费、劳务费三个类别填报，每个类别结合科研任务按支出用途进行说明。除 50 万元以上的设备外，其他费用只提供基本测算说明，不需要提供明细。

**1.设备费 0.00 万元**（是指项目实施过程中购置或试制专用仪器设备，对现有仪器设备进行升级改造，以及租赁外单位仪器设备而发生的费用等。计算类仪器设备和软件工具可在设备费科目编列。填报时，50 万元以上的设备详细说明，50 万元以下的设备费用分类说明）。

本课题无设备费。

**2.业务费 195.00 万元**（是指在项目实施过程中消耗的各种材料、低值易耗品等、发生的测试化验加工、燃料动力、出版文献、信息传播、知识产权事务、会议、差旅、国际合作与交流以及其他与项目实施直接相关的各项费用。编报时，对单笔大额支出、对外委托支出重点说明）。

#### （1）测试化验加工费 90.00 万元

①数据采集 APP 开发及维护，用于数据采集、健康教育等，共 10.00 万元；

②血生化检测，包括血糖、血脂四项、尿酸、血胰岛素和 C 肽水平等，200 元/人次×800 人×（1 次基线+4 次随访）=80.00 万元；

#### （2）出版/文献/信息传播/知识产权事务费 45.00 万元

①中文文章发表，每篇版面费 0.5 万元×6 篇=3.00 万元；

②SCI 文章发表，每篇版面费 2 万元×8 篇=16.00 万元；

③宣传调查材料费用，用于科普宣传材料、健康教育及调查问卷材料等制作费用的支出，65 元/人次×800 人×（1 次基线+4 次随访）=26.00 万元。

#### （3）会议费 11.00 万元

召开课题启动及方案培训会、干预随访工作组织及中期进展会、工作经验总结及推广研讨会，邀请参与课题实施主要人员及外请专家参加，每次会议持续 1 天，参加人数 40 人，共 5 次会议，合计 550 元/人天×1 天×40 人×5 次=11.00 万元。

#### （4）国内差旅费 24.00 万元

课题组人员参与数据调查、数据分析及参加国内会议等产生的差旅费用。按 0.4 万元/人次标准计算，每年 15 人次，项目执行 4 年，0.4 万×15 人次/年×4 年=24.00 万元。

#### （5）国际合作与交流 25 万元

参加国际肥胖大会，共 10 人次。用于机票、伙食费、住宿、公杂、国际会议注册等相关费用，平均 2.5 万元/人次，2.5 万元/人×10 人次=25 万元。



**3.劳务费 60 万元**（是指在项目实施过程中支付给参与项目的研究生、博士后、访问学者以及项目聘用的研究人员、科研辅助人员、科研（财务）助理等的劳务性费用；支付给临时聘请的咨询专家的费用等。项目聘用人员由单位缴纳的社会保险补助、住房公积金等可纳入劳务费列支）。

**(1) 研究生劳务费 32.00 万元**

- ①博士研究生 1200 元/人月×4 人×6 月/年×4 年=11.52 万元；
- ②硕士研究生 800 元/人月×8 人×8 月/年×4 年=20.48 万元。

**(2) 临时聘用人员劳务费 15.00 万元**

干预及随访过程需要聘用临时聘用人员，负责调查资料、信息录入、现场体检、生物样本采集、数据录入及核查等工作，每人每天 100 元，项目基线调查 1 次，随访 4 次，共计 5 次，每次 5 天，每次 15 人，共 4 个中心。100 元/人天×5 天×15 人×5 次×4 中心=15.00 万元。

**(3) 专家咨询费 13.00 万元**

邀请相关领域专家针对方案制定、组织实施、质量控制、项目总结等进行咨询，其中高级职称专家 2500 元/人次×40 人次=10 万元；其他职称专家 1500 元/人次×20 人次=3.00 万元。合计 13.00 万元。

**二、其他来源资金**

对其他来源资金主要用途、支出预算做简要说明。

本课题其他来源资金 **750 万元**，其中首都医科大学附属北京儿童医院 **300 万元**，北京汉方健康科技有限公司 **450 万元**，主要用途如下：

**(一) 首都医科大学附属北京儿童医院**

**1.设备费 20.00 万元**

血压计：5000 元/台×40 台=20.00 万元。

**2.业务费 280.00 万元**

线上运动游戏：开发费 200 万+运营维护 20 万/年×4 年=280.00 万元。

**(二) 北京汉方健康科技有限公司**

**1.设备费 140.00 万元**

- ①体成分测量仪：30 万元/台×4 台=120.00 万元；
- ②血压计：5000 元/台×40 台=20.00 万元。

**2.业务费 310.00 万元**

①随访平台及数据管理平台：开发费 200 万+运营维护 20 万/年×4 年=280.00 万元；

②运动监测设备：500 元/个×600 个=30.00 万元。



## 其他来源资金承诺书

首都医科大学附属北京儿童医院(单位全称),为 儿童肥胖防控运动干预 课题,提供 300 万元的资金,资金来源为 2、单位自筹资金 (1、地方财政资金 2、单位自筹资金 3、其他渠道获得资金)。

资金主要用于: 设备费、业务费、劳务费等。

特此证明!



2024年5月27日



## 其他来源资金承诺书

北京汉方健康科技有限公司(单位全称),为儿童肥胖防控运动干预课题,提供450万元的资金,资金来源为2、单位自筹资金(1、地方财政资金 2、单位自筹资金 3、其他渠道获得资金)。

资金主要用于:设备费、业务费、劳务费等。

特此证明!

出资单位(公章)

2024年5月27日




“癌症、心脑血管、呼吸和代谢性疾病防治研究” 国家科技重大专项

“运动干预模式和肥胖防控的临床研究” 项目  
“儿童肥胖防控运动干预” 课题组织实施协议

课题牵头单位： 首都医科大学附属北京儿童医院

课题负责人： 闫银坤

联系方式： 

2024 年 9 月



- 1 -



1. 本课题中央财政经费的数额为 255 万元。根据任务分工和课题任务书约定，乙方中央财政经费为 22.5 万元。

2. 经费支出要求：乙方的经费支出应严格执行国家有关科研经费的管理办法和规定，按预算范围开支经费，保证今后经费支出决算数与预算数相符合，保证决算数与本课题单位明细账相一致。

3. 甲方中央财政经费到账后 30 日内，按照到账比例拨付给乙方中央财政经费，自筹配套资金出资方按乙方中央财政经费到账比例提供给乙方相应自筹配套资金。

4. 在课题实施过程中，乙方应严格按照国家相关规定管理和使用经费。按照课题任务书约定，乙方按以下经费预算支出：

经费预算表（单位：万元）		
序号	预算科目名称	金额
1	一、中央财政专项资金	22.50
2	（一）直接费用	17.50
3	1. 设备费	0.00
4	其中：购置设备费	0.00
5	2. 业务费	14.00
6	3. 劳务费	3.50
7	（二）间接费用	5.00
8	二、其他来源资金	0.00

- 4 -



9	三、合计	22.50
---	------	-------

如预算确有必要调剂时，乙方应严格按照相关科技计划经费管理办法履行相关程序，待预算调剂完成后方可按照新预算执行。待课题资助期满，乙方应以预算为基础及时向甲方提交财务支出明细及决算。

#### 四、关于科研成果、知识产权和奖励、科技报告提交的相关约定

在课题执行过程中涉及到的信息公开与分享、科研成果处理、知识产权申请与转让、奖励申报和收益分享等事宜按照以下约定执行，本协议未尽之处，应采取“一事一议”的方式签订补充协议：

1. 课题执行期间，双方承诺尽最大可能互为提供资料数据，共享研究成果，但相关资料和数据仅限于各方的研究目的，任何一方都不得将披露方未公开的材料和资料向其他方转移和泄露。无论本协议是否变更、解除或终止，本条款长期有效。

2. 双方在课题执行日之前各自所获得的知识产权及相应权益均归各自所有，不因共同合作本课题而改变。

3. 在课题执行过程中，各方应对科技成果及时采取知识产权保护措施，并按照国家科技计划知识产权管理相关规定决定归属。独自完成的科技成果及获得的知识产权归各方独自所有，相关成果被授予的奖励归各方独自所有。各方共同



签字盖章页

课题牵头单位(公章)



法定代表人(签章):

之倪  
印鑫

课题负责人(签字):

周钟

2020年9月14日

课题参与单位(公章):



法定代表人(签章):

张露

任务负责人(签字):

张露

2020年9月14日

67

