



中国人工智能系列白皮书

——体育人工智能

中国人工智能学会

二〇二四年六月

《中国人工智能系列白皮书》编委会

主任：戴琼海

执行主任：王国胤

副主任：陈杰 何友 刘成林 刘宏 孙富春 王恩东
王文博 赵春江 周志华 郑庆华

委员：班晓娟 曹鹏 陈纯 陈松灿 邓伟文 董振江
杜军平 付宜利 古天龙 桂卫华 何清 胡国平
黄河燕 季向阳 贾英民 焦李成 李斌 刘民
刘庆峰 刘增良 鲁华祥 马华东 苗夺谦 潘纲
朴松昊 钱锋 乔俊飞 孙长银 孙茂松 陶建华
王卫宁 王熙照 王轩 王蕴红 吾守尔·斯拉木
吴晓蓓 杨放春 于剑 岳东 张小川 张学工
张毅 章毅 周国栋 周鸿祎 周建设 周杰
祝烈煌 庄越挺

《中国人工智能系列白皮书——体育人工智能》编写组

顾问：戴琼海 胡海岩

主编：何明

副主编：樊瑜波 霍波 刘宇 刘卉
成员：曹春梅 陈煜 丁宇 董琳 段锐
何卫 贾伟 刘程林 刘平 卢朝霞
庞磊 彭玉鑫 任杰 沈宇鹏 宋言伟
苏业旺 田雪文 于洋 王坤 王丽珍
吴剑 张栋 张海洋 赵勇 周志雄
周致赜

目 录

前言	1
第1章 体育人工智能的发展历程	1
1.1 萌芽期（二十世纪五十年代至八十年代）	1
1.2 形成期（二十世纪八十年代至二十一世纪前十年）	1
1.3 全面融合期（二十一世纪初至今）	2
第2章 智能可穿戴设备	4
2.1 智能可穿戴设备技术发展趋势	5
2.1.1 融合材料与先进制造技术，创新柔性智能穿戴传感器 ...	5
2.1.2 提高信息传输和处理能力，实现高性能与低功耗设计 ...	6
2.1.3 拓展可穿戴装备应用领域，增强个性化服务和用户体验	6
2.2 在竞技体育领域的应用现状	8
2.2.1 构建智能可穿戴设备运动伤病管理系统，实现运动负荷监测和运动风险预测智能化	8
2.2.2 构建智能一体化运动训练管理系统，监测运动训练全过程多源参数	8
2.2.3 搭建广泛的云端互联网平台与边缘计算平台，实现全数字化训练效果的评估	10
2.3 在学校体育领域的应用现状	11
2.3.1 构建高校体育教学负荷监控系统，实现运动负荷监测可视化	11
2.3.2 推进运动技能虚拟仿真学习，实现虚拟现实与体育教育的深度融合	11
2.3.3 融合扩展现实（XR）技术，实现教学质量评价标准化	12
2.3.4 优化课外体育锻炼全流程，实现锻炼高效化与科学化	13
2.4 在大众健身领域的应用现状	14
2.4.1 研发智能可穿戴设备，监测健身运动数据	14

2.4.2 研发可穿戴智能化运动设备，辅助运动障碍人群健身	14
2.4.3 建立慢病风险预测算法，指导科学健身和健康管理	15
2.4.4 制定健身计划和提供互动平台，增强健身动力和良好习惯	16
2.4.5 研发脑机接口设备，提高功能受限人群的生活质量	16
2.5 本章小结	17
第 2 章 参考文献	18
第 3 章 计算机视觉技术	20
3.1 在竞技体育领域的应用现状	20
3.1.1 研发智能辅助训练系统，评估运动员动作质量	20
3.1.2 构建视频辅助裁判系统，提高赛事判罚准确性	22
3.2 在学校体育领域的应用现状	25
3.2.1 构建学校运动训练与教学系统，改善体育课堂教学效果	25
3.2.2 建立体育课堂智能预测系统，准确评估学生的运动损伤风险	27
3.3 在大众健身领域的应用现状	30
3.3.1 构建沉浸式运动健身系统，打造 AI+ 健身“元宇宙”	30
3.3.2 研发智能健身教练系统，提供科学的健身指导	34
3.4 本章小结	37
第 3 章 参考文献	38
第 4 章 体育大数据技术	40
4.1 在竞技体育领域的应用现状	40
4.1.1 构建个性化运动训练模型，分析运动训练及比赛中的规律	41
4.1.2 定量化预测和控制运动负荷，实现运动损伤的智能化预防	43
4.1.3 构建智能化精准训练服务平台，分析运动员竞技状态	45
4.2 在学校体育领域的应用现状	46

4.2.1 构建计算机辅助体育教学系统，改善体育教学效果	47
4.2.2 集成展示校园体育教学场景，建设“数字孪生”智慧体育校园平台	48
4.3 在大众健身领域的应用现状	50
4.3.1 构建多平台互联互通的大众健身智慧化空间，以实现信息不断迭代和更新	51
4.3.2 构建个性化运动处方管理系统，完善主动健康模式	54
4.4 本章小结	56
第 4 章 参考文献	57
第 5 章 运动生理生化检测分析中的智能技术	61
5.1 运动生理信号的智能传感与分析	62
5.1.1 开展运动生物电位信号监测，提高运动员专注力和运动表现	62
5.1.2 研发生命体征的光电感知与智能分析，实现运动中生理信号的实时监测	64
5.1.3 发展生物体液的电化学传感与智能分析方法，丰富可穿戴诊断和治疗应用	65
5.2 运动生化分子的高通量检测与筛选	67
5.2.1 应用运动生化分子的高通量检测技术，研究运动对疾病的干预作用	67
5.2.2 应用运动因子和健康效益标记物的筛选技术，开展运动的系统性健康效益研究	69
5.3 运动生理生化数据的智能化分析	70
5.3.1 构建运动生理生化数据的智能化分析技术，帮助识别关键基因、蛋白质和代谢物	70
5.3.2 深化数据挖掘思路，解释生理或病理变化的深层次分子机理	72
5.4 运动科学、生物信息学和人工智能的交叉应用	74
5.5 本章小结	75

第 5 章 参考文献	76
第 6 章 运动心理分析中的人工智能技术	80
6.1 运动神经行为的人工智能分析	80
6.1.1 构建全方面监测与评估方案，实现运动行为分析	81
6.1.2 提供运动控制创新治疗方案，实现运动神经反馈与调控	82
6.2 运动心理技术中的人工智能应用	82
6.2.1 推动精准步态分析，实现个性化康复和训练	82
6.2.2 推动精准脑电分析，实现心理状态和决策过程评估	84
6.2.3 推动精准肌电分析，实现肌肉力量和激活模式评估	87
6.2.4 推动近红外光谱分析，辅助生理状态和运动表现评估	88
6.2.5 推动磁共振成像分析，辅助脑活动模式和神经机制研究	89
6.3 人工智能在运动心理训练中的应用	91
6.3.1 构建虚拟现实（VR）系统，创新运动心理训练方法 ..	91
6.3.2 构建增强现实（AR）系统，优化运动心理干预模式 ..	92
6.3.3 搭建个性化运动心理训练系统，全面提升运动表现和心 理素质	93
6.4 本章小结	94
第 6 章 参考文献	94
第 7 章 智能体育训练装备和健身器材	101
7.1 训练与健身智能装备概述	101
7.1.1 完善智能训练装备，推动智能训练装备全面普及	101
7.1.2 全面监控辅助科学化备战训练，提高奥运竞赛成绩 ..	103
7.2 智能健身器材	104
7.2.1 智能健身器材的特征	104
7.2.2 智能健身器材的作用	105
7.2.3 智能健身器材的发展趋势	105
7.2.4 智能健身器材的挑战和问题	106

7.2.5 智能健身器材发展展望	106
7.3 运动健康管理系统	107
7.3.1 研发运动健康管理系统，实现健康状态精准管理	107
7.3.2 完善运动健康管理系统的核心功能，实现多元化、个性化管理	109
7.4 本章小结	111
第 7 章参考文献	111

前言

作为新一轮科技革命与产业变革的核心驱动力，人工智能技术正在深刻地影响人类的社会生活。体育是人类促进自身健康、探索运动极限的重要方式，同时也是以丰富人类社会文化和精神文明为目的的一种有意识、有组织的社会活动。近年来，随着人工智能技术在体育科技领域的逐步应用，体育学的科研、教学和实践也在发生着巨大变革，体育人工智能学科已经初现端倪。

2021 年 10 月，国家体育总局印发的《“十四五”体育发展规划》中明确提出需加强信息技术在体育领域广泛应用，说明人工智能与体育持续、全面、深层次的融合已成为助力体育事业发展的必然趋势。根据近年来的技术发展和应用实践，体育人工智能可定义为：面向人类体育活动，基于人工智能技术，实现人体运动监测和感知，建立数据分析理论与方法，揭示人体运动规律、评估运动表现、形成科学运动方案、研发辅助训练装备，以提升竞技体育运动表现、实现全民科学运动和主动健康。

在竞技体育领域，面向运动员、教练员、裁判员，基于人体动作捕捉、识别和分析开发的训练辅助系统、陪练机器人、战术优化系统、智能裁判与辅助判罚系统等已在训练、竞赛、执裁方面得到了广泛应用；在学校体育领域，依托人工智能、大数据打造的体育教学生态系系统，能帮助学生开展个性化的体育学习与训练、辅助体育教师提高教学质量、协助管理者实现高效的教学管理，促进学校、家庭、社会 3 个方面的同向协力；在大众健身领域，各类基于人体数据的健身 APP 大量上线，智能化可穿戴设备逐渐普及，智能化运动场馆开始兴起，人工智能为解决体育资源分布不平衡的问题提供了新的思路，使人民群众享受到了现实可行的体育资源获取渠道。

本白皮书将梳理体育人工智能发展历程以及应用于体育各个领

域的人工智能关键技术，以期为体育科技工作者进一步探索研究体育人工智能的理论、技术和应用提供借鉴与参考。

第1章 体育人工智能的发展历程

自1951年克里斯托弗·斯特雷奇编写了第一款能下西洋跳棋的计算机程序，到2016年Alpha Go击败围棋世界冠军李世石，体育始终是人工智能技术的实验与应用对象。纵观体育人工智能发展史，伴随着人工智能技术的产生、兴起、沉寂和复兴，体育人工智能技术也相应体现出阶段性特征。

1.1 萌芽期（二十世纪五十年代至八十年代）

人工智能技术诞生之初，以西蒙和纽厄尔为代表的理性学派认为，人脑与计算机可以视为信息处理器，任何能够以一定的逻辑规则描述的问题都可以通过人工智能程序解决。而棋类游戏恰恰是这种形式化符号问题的典型，因此以棋类为代表的体育活动在人工智能领域被用作理性学派的试验场，用来验证算法的优越性。纽厄尔和塞弗里奇于1955年分别作了下棋与计算机模式识别的研究，而塞缪尔于1956年提出了机器学习理论，并编写了能够与人类下西洋跳棋的程序，这套程序在1959年击败了设计者本人，又于1962年战胜了美国的州冠军。之后，随着人工智能发展出现第一次低潮，体育与人工智能的结合也陷入长达20年的沉寂。

1.2 形成期（二十世纪八十年代至二十一世纪前十年）

在二十世纪八十年代，竞技体育蓬勃发展、大众健康意识增强、专家系统广泛应用，推动人工智能技术开始应用于提取和分析运动、运动损伤、疲劳方面的数据。由此，体育与人工智能的结合开始趋向深入。在科学训练方面，综合软件程序被用于分析和改善运动过程中生物力学、生理学及心理学表现，并可实现技能模拟、负荷监测、动作分析等功能，以有效地辅助运动训练。在医疗和伤病预防方面，基于健康信息大数据的概率模型被用于预测锻炼活动的风险，基于机器学习算法的专家系统用于运动损伤诊断。在赛事预测方面，神经网络

算法被用于预测特定运动比赛的结果。总体来说，体育与人工智能的融合在这一时期取得了较大成效，主要体现在促进科学训练、医疗保健、预测体育比赛结果等。同时，数据记录、算法、应用方案、软硬件技术等条件尚未成熟，使得体育人工智能技术并未形成整体化和系统化应用的局面。

1.3 全面融合期（二十一世纪初至今）

随着深度学习算法、大数据、云计算、虚拟现实、传感器、物联网等新技术的发展，体育人工智能技术进入高速发展期，在竞技体育、学校体育、大众健身领域逐步呈现整体化、系统化、精细化应用的态势，在体育赛事转播、智能判罚、竞技体育训练、体育教学、智能体育场馆、个性化健康管理等方面成果丰硕。在竞技体育的技术训练与战术建模方面，无线传感的运动监测装备已得到初步应用。NBA 早在 2013 年就引入 Sport VU 系统，将 3D 高清摄像机与各类传感器相连，通过动态捕捉、跟踪分析、提取数据建立战术模型，并最终输入数据库。在学校体育方面，以大数据为核心的人工智能领域的各种技术应用于教育教学后取得了显著的成效，不但推动了学校体育课程改革，而且加快了体育教育现代化建设，以科技手段和智能技术促进学校体育各方面的发展，革新了现有的体育教学模式，降低体育教学中的运动损伤风险，确保学生安全而愉快地进行体育锻炼。在大众健身方面，围绕健身计划生成、实时动作反馈、健身膳食安排、健身效果评估的智能算法与虚拟现实技术相继落地应用，用户可以通过 APP 软件在沉浸式、数字化的虚拟运动训练环境中健身，不仅可以实时监测热量消耗、步频、心率等，而且还能选择最合适的运动强度健身服务方案。此外，体育场馆的智能化和数字化也正在快速发展。该阶段能突破之前体育与人工智能结合的局限得益于信息技术的快速发展和互联网的普及，算力突破、算法强化等也使得模型构建和分析结果的精准度大大提高。体育人工智能领域正在迎来历史上最好的发展时

期，迫切需要体育学、人工智能、计算机、电子信息、自动化、机械、力学、生命科学、生物学等学科实现多方位、深层次、立体化的交叉融合，共同提升人体运动表现、探索人类运动极限、促进科学运动和主动健康。

第2章 智能可穿戴设备

智能可穿戴设备是指可穿戴于人体并可监测、分析、评估人体运动学、动力学、生理学等相关参数的智能装备。这些设备利用传感器技术、定位系统技术、人工智能等技术，实时监测和记录用户的运动和生理数据，并通过数据分析，为用户提供科学的运动指导和健康管理。随着多传感器人工智能融合算法的鲁棒性、运算速度及精度的进一步提升，采集到的大量运动相关数据可集成于同一可穿戴设备中，使得智能传感器的类型越来越多、精度越来越高、体积越来越小。

智能可穿戴设备以其在数据采集、分析、反馈方面的独特优势，正逐步成为体育领域不可或缺的一部分，在竞技体育、学校体育及大众健身领域的应用正深刻改变着体育训练、教学与健身的原貌，通过集成先进技术与算法，实现了运动监测、伤病预防、个性化训练及健康促进的智能化和科学化，不仅推动了高水平竞技体育的科学训练，也广泛惠及学校体育教学和全民健康促进，展现了技术进步对于体育行业未来发展的重要推动力。在竞技体育领域：通过智能可穿戴设备精确采集生理和运动数据，结合人工智能算法评估运动负荷、预测伤病风险，为运动员制定个性化训练计划，减少运动损伤，延长职业生涯；基于智能服装内置微型传感器，实现无创、无干扰的数据采集，同时保持高舒适度和全天候监测能力，提升训练效率；整合多种参数监测，优化训练监控，提供全面的运动表现分析，加速科学化训练进程。在学校体育领域：智能可穿戴设备使运动监测变得可视化、精确化，提高教学效率，个性化运动指导降低受伤风险，增强学生运动兴趣；结合虚拟现实技术，创造沉浸式学习体验，丰富教学方法，优化资源配置，提升学生技能学习的积极性和效果。在大众健身领域：智能可穿戴产品不仅记录基本运动数据，还通过深度学习算法提供个性化反馈和运动建议，助力健身者有效预防损伤，优化锻炼效果；针对

老年人群及有特殊健康需求的个体，智能设备如外骨骼和个性化康复辅具，利用机器学习算法辅助康复训练，促进运动能力恢复，体现运动健康的普惠价值。

2.1 智能可穿戴设备技术发展趋势

智能可穿戴设备作为现代科技与日常生活深度融合的产物，近年来经历了飞速的发展与变革，其研究进展呈现出多元化和专业化的特点，特别是在材料科学、传感器技术、无线通信、数据分析以及用户体验设计等方面取得了显著成就。它们不仅重新定义了个人健康监测、娱乐通讯、乃至工业与军事领域的作业方式，还预示着人机交互新时代的到来。随着近年来的技术变革，智能可穿戴设备主要呈现出以下几方面的发展趋势。

2.1.1 融合材料与先进制造技术，创新柔性智能穿戴传感器

在材料科学与传感器技术方面，柔性与可拉伸材料成为穿戴式设备的发展趋势，研究人员开发出了一系列高弹性和可拉伸的材料，如聚氨酯（PU）、聚二甲基硅氧烷（PDMS）、Ecoflex 以及各种水凝胶，用于制作更舒适的穿戴设备。这些材料使得设备能更好地贴合人体，提高运动监测的准确性和舒适度。

同时，高性能的传感器也被越来越多地集成到智能可穿戴设备当中，以实现对生理指标的高精度监测^[1]。例如，高灵敏度的液态金属传感器和基于碳纳米管的电子皮肤，能有效监测细微的身体运动和生理变化。针对人体长时间佩戴的需求，研究关注于提高材料的生物兼容性和长期耐用性。例如，使用抗冻和抗菌的水凝胶材料，以及具有自愈合特性的材料，确保传感器在复杂环境下的稳定工作。

新材料与先进制造技术的应用，如柔性电子、纳米技术、3D 打印，不仅让可穿戴设备更加轻薄、舒适，还促进了形态的多样化，如耐克等品牌已尝试将传感器集成到衣物中，3D 打印技术更是让用户能定制个性化的智能配件，如智能 T 恤、鞋子等；同时，随着环保意

识的提升，开发具备环境适应性和可持续性的可穿戴设备成为趋势，如使用可回收材料、优化能源管理、设计更长寿命的产品，以及提供设备回收计划。

2.1.2 提高信息传输和处理能力，实现高性能与低功耗设计

在数据处理与无线通信方面，智能可穿戴设备越来越要求低功耗与高效传输技术，通过采用低功耗蓝牙、NFC、5G NB-IoT 等通信技术，实现数据的高效传输，同时延长设备续航。低功耗蓝牙、eSIM 技术的普及，使得设备更加独立运行，减少对外部设备的依赖。研究正探索如何进一步降低能耗，提高传输速率和稳定性。

随着半导体技术的进步，可穿戴设备的处理器正迈向更高性能、更低功耗的新阶段。5nm 及更先进制程的芯片，如三星 Exynos W920，已成为可穿戴设备的核心，显著提升了 CPU 与 GPU 性能，延长了设备续航。电池续航依然是限制可穿戴设备发展的关键因素之一，相关研究正通过新型电池和无线充电技术，来延长设备使用时间。

为了减少对云计算的依赖，可穿戴设备正在集成更强大的本地数据处理能力，以实现实时处理和分析海量生理数据，边缘计算技术与人工智能算法被集成进设备中，能够进行即时健康预警、运动分析等，提升用户体验和健康管理的准确性。此外，随着数据量的增加，数据安全和隐私保护成为研究的重点，需要开发更安全的数据加密和传输方法。

2.1.3 拓展可穿戴装备应用领域，增强个性化服务和用户体验

随着技术的成熟，智能可穿戴设备的应用领域也在不断拓展。健康监测是智能可穿戴设备的核心功能，而人机交互使人和设备实现无缝联接^[2]。首先，在测量心率、血氧等指标的基础上，可穿戴设备对血压、血糖、心电等复杂生理参数的监测也取得了很大进展；其次，可穿戴设备正向生物集成和半永久植入方向发展，如皮下植入式血糖监测传感器、神经接口设备，并通过体感交互、语音识别、眼球追踪

等技术实现了更深层次的人机融合；最后，可通过实时监测用户的健康状况，与医疗机构进行远程合作，来实现慢性病管理和疫情监控等重要功能。如苹果公司的无创血糖监测项目，展示了在慢性病管理、疾病预防和远程医疗中的巨大潜力。

自 2016 年起，可穿戴技术在美国运动医学学会（ACSM）发布的全球健身趋势榜单中长期稳居第一，说明其在大众健身领域的重要性^[3]。图 2-1 显示了当前市场中销售的可穿戴设备及在竞技体育领域的应用，可以看出不同类型传感器全方位和多维度地采集运动过程中的各项指标数据。随着人工智能技术的迅猛发展，基于可穿戴装备提供的数据，研究人员使用数据挖掘、机器学习等分析手段，分析不同运动负荷、姿态、技术、位置和力量数据的特征，并以数字化和可视化的方式呈现，使穿戴者自身及指导人员对训练过程有更为直观的认识，进而为后续个性化训练提供数据支撑。



图 2-1 智能可穿戴设备应用场景示例^[4]

2.2 在竞技体育领域的应用现状

2.2.1 构建智能可穿戴设备运动伤病管理系统，实现运动负荷监测和运动风险预测智能化

如何使运动员避免伤病并能以最佳状态上场比赛、延长运动员的职业生涯是竞技体育领域长久以来关注的问题。相关数据显示，美国职业棒球联盟在1年中用于运动员伤病治疗就要花费10亿美元^[5]。通过构建基于智能可穿戴设备的伤病管理系统，精准采集动作、心率及肌电数据，可以实现最佳训练方案制定和伤病预防。运动负荷是决定竞技运动表现的关键影响因素，其量化调节和精细化控制是当前运动训练科学化的一个主要发展趋势^[6]。可穿戴设备通过监测心肺功能、体液和神经肌肉等生理学指标，评估最大摄氧量、训练负荷、恢复时长等指标，实时评估人体运动健康状况。GPS、陀螺仪和加速度计等传感器还可以监测和分析运动员的跑动能力、变向次数、负荷累积等指标，由人工智能驱动的软件分析系统能基于采集到的数据进行有效的运动负荷评估，提出有针对性的训练计划调整建议，进行运动损伤预警，减小运动伤病发生的概率。近年来，更多研究正在通过构建人工神经网络模型以识别与判定动作类别及能量消耗，从海量的数据集中通过数据驱动的学习过程识别变量的非线性变化，构建复杂系统模型以从多视角诊断运动损伤成因以有效地预测运动损伤的发生。人工智能技术正在辅助教练员在训练中及时而有效地进行运动负荷控制并给予运动员适时的反馈，避免过度训练和降低运动损伤风险，增强运动员的内在动机和产生更好的神经肌肉适应性。

2.2.2 构建智能一体化运动训练管理系统，监测运动训练全过程多源参数

为了在不影响运动员正常发挥的前提下采集数据，人体穿戴式传感器的功能日益集成化，外观也日益微型化^[7]。中国自由式滑雪空中技巧国家队在冬奥备战中使用了基于可穿戴设备的运动表现分析系

统，通过内嵌智能微型传感器的动作捕捉紧身衣、紧身裤、鞋垫、手套来收集记录穿戴者的肢体各部位的加速度、角速度等数据^[8]。相比传统的光学传感器，应用惯性传感器的智能服装具有信息数据捕捉更准确、全天候、抗干扰能力强等更多优势。为了不影响运动员比赛，这些智能可穿戴设备中的传感器重量和尺寸都非常小。目前有一些健身衣内置了心电、呼吸和肌电等传感器，不仅可以计步、监测心率，以及监测人体不同部位肌肉力量的训练情况，还可以将数据同步至APP以转化为可视化图表，实现对身体锻炼情况的精准把控，辅助教练员及时调整训练计划^[9]。同时，这些健身衣还具有高延展性，材料透气、防水且防晒等性能，提高了穿戴舒适性。随着可穿戴设备数据采集材料等硬件和智能算法的日益进步，结合教练员和运动员的切实需要，目前人们正致力于实现可穿戴设备的无创、无干扰和智能化驱动，从而实现科学化训练的精准助力。

囿于单一传感器监控训练过程的局限性，发展多传感器训练信息融合技术，全方位捕捉训练信息、优化训练监控和辅助已经成为业界共识^[10]。此技术是将各类传感器采集到的信息，运用神经网络、模糊推理等智能算法将那些在时间和空间上相关的信息进行有效组合，提高系统预测结果的信效度及稳定性。实际上，人们已经发现，训练量化评价的有效性和可靠性受限于场地范围过大、身体对抗激烈、恶劣极寒天气等不利因素，即便单个传感器使用了更高的采样频率、更精细的特征集和分类器，仍难以确保对运动员跑动能力测评的准确性，但通过使用多类传感器协同采集，其在动作识别方面的精确度及效率都超过了单个传感器^[11]。因此，应用人体传感网络技术将单一传感器采集到的运动参数和生理参数通过信号处理和机器学习等智能算法汇总至一个数据处理平台中，加速研发智能一体化训练管理系统，可为竞技体育的发展增效赋能。

2.2.3 搭建广泛的云端互联网平台与边缘计算平台，实现全数字化训练效果的评估

云端互联网平台是一个由高性能服务器组成的硬件系统，它们通过专门的配置，可以为客户提供各种各样的云端服务，例如人工智能大模型训练，数据库管理，消息订阅与发布等，是现代体育科技发展的重要趋势之一。云端平台通常具备强大的数据管理和存储能力，可以存储海量的运动员生理数据、训练数据和比赛统计数据。目前，云平台可运用多种数据库技术（例如，系型数据库、NoSQL 数据库和数据仓库等）用来存储与体育赛事相关的赛事数据和运动员数据。云平台运用人体传感网络所采集的数据，结合机器学习平台（如 TI-ONE）对每场赛事的运动员行为进行数据自动标注和模型训练，从而获取可靠的大数据模型来帮助教练和运动员更好地理解赛事的技战术，进而制定科学的训练计划。

边缘计算是一种在数据产生地点近端进行数据分析的计算技术，主要目的在于减少数据传输时间，加快处理速度，并减轻云端数据中心的负担，是云平台技术的延伸。因此，在需要实时反馈的运动场景下（例如足球、冰球和篮球等），边缘计算可有效地分担云端计算压力，实现低延迟数据处理。具有边缘计算能力的智能可穿戴设备首先对运动员个人数据进行一级处理，经过浅层信息提取后上传至云平台，根据大数据模型提供快速决策方案，这种协同模式可有效结合两者优势，提高训练或比赛时的对抗水平。需要注意的是，隐私保护与数据安全在体育数据管理中不可忽视。平台需确保所有数据传输和存储均进行加密处理，严格实施访问控制策略，保护运动员隐私和数据安全。此外，遵守各地区的数据保护法规，如欧洲的 GDPR 或中国的网络安全法，确保平台合法合规运作。

2.3 在学校体育领域的应用现状

2.3.1 构建高校体育教学负荷监控系统，实现运动负荷监测可视化

传统体育课堂教学在运动负荷等方面的监测主要依靠体育教师的主观观察，运动数据的监测缺乏精确性和连续性。近年来，基于智能可穿戴设备的体育教学负荷监控系统逐渐应用于体育课堂教学中，从而帮助授课教师实时、快速、准确地获取学生的运动负荷、活动水平、活动时间等指标，为动态调整教学目标和教学内容及组织教学活动提供客观数据支撑。愈加成熟的可穿戴设备和运动 APP 可以使学生在锻炼时快速地向体育教师反馈有关数据，体育教师无需再做相关测试和逐一登记成绩的工作，从而能够成倍地提升体育教学效率^[12]。另外，为了降低体育课的运动损伤风险，向学生提供个性化的运动指导，学生通过佩戴内嵌 GPS 及加速度计的运动手环、智能手表等，测评其不同运动状态下的跑动能力和运动负荷。也有一些智能可穿戴设备可以监测学生的血氧、肌电等生理指标，在学生进行高强度运动时，体育教师可以对这些指标进行实时和无创检测，从而能及时地了解学生的身体健康状况^[13]。在体育教学中应用智能可穿戴设备，可以可视化自身运动数据和进步情况，不仅有助于规范技术动作，也大大增强了学生对运动的兴趣，实现运动正强化。智能可穿戴设备的广泛应用，正在深刻地改变着体育教学模式，对未来的学校体育的目标、内容、范式也将产生深远影响。

2.3.2 推进运动技能虚拟仿真学习，实现虚拟现实与体育教育的深度融合

传统的运动技能学习主要通过教师讲解与示范动作、学生模仿动作、教师纠正错误的过程实现，困难在于不易充分调动学生的学习兴趣和积极性，另外还存在教学方法单一、远程教学能力不足等问题。近年来，很多学校开始构建基于智能可穿戴设备和虚拟现实技术、由

物联网、云平台和移动客户端组成的体育虚拟现实系统。该系统通过从物联网中收集相关数据，在云平台中储存海量运动数据，并采用云渲染技术实现与虚拟现实场景的实时交互，最后通过移动终端体验近乎真实参与的运动项目。此种体育课堂用机交互技术能使学生感受真实运动中的视觉、触觉、听觉，能使学生身临其境，在虚拟环境中感受、体验及学习技术动作，并且不再受学校场地有限而导致相关运动项目无法进行教学的局限，能使学生从以往的被动练习转变为主动体验交互式学习模式。另外，该类系统可使学生通过更直观的视觉体验加深对运动技能的认识，不仅有助于学生形成运动表象，还有利于优化教育资源配置^[14]。校园体育虚拟现实系统的应用与推广，正在深化学校体育改革，加强和改进了新时代学校体育工作。

2.3.3 融合扩展现实（XR）技术，实现教学质量评价标准化

扩展现实（XR）技术是指通过计算机将真实场景与虚拟场景相结合，打造一个可人机交互的虚拟环境。这种技术融合了 AR、VR 和 MR 的视觉交互技术，为体验者带来虚拟世界与现实世界之间无缝转换的沉浸感。智能可穿戴设备融合 XR 技术，可为体育教学质量评价带来前所未有的变革，通过创建沉浸式、交互式的教学环境，实现评价过程的标准化和客观化。通过 XR 技术，可以构建虚拟的体育教学环境，模拟真实的体育场馆和器械。学生在这个虚拟环境中进行锻炼，能够获得与真实场景相似的体验。智能可穿戴设备则用于追踪学生的动作和生理数据，确保学生在虚拟环境中的锻炼效果可量化、可评估。结合体育教学大纲和实际需求，可以制定一系列标准化的评价指标，如动作准确性、运动强度、反应速度等。这些指标将通过智能可穿戴设备进行实时采集和分析，以客观的数据来评估学生的运动表现和教学质量。在虚拟教学过程中，智能可穿戴设备能够将学生的运动数据实时反馈给教师。教师根据这些数据，可以及时了解学生的运动状态，发现存在的问题，并通过 XR 技术提供的可视化界面，给予

学生针对性地指导和建议。这种实时的反馈机制有助于提高学生的学习效率和运动技能。此外，通过智能可穿戴设备和 XR 技术的融合，可以将评价结果以直观、可视化的方式呈现给教师和学生。这不仅有助于增强学生的参与感和成就感，还能让教师更加清晰地了解学生的学习情况，为后续的教学提供有力支持。同时，这些标准化的评价结果还可以作为学校体育教学质量的客观依据，用于教学评估和改进。智能可穿戴设备与扩展现实（XR）技术的融合，不仅极大地丰富了体育教学的内容和形式，还提高了教学评价的效率和准确性，为体育教学质量评价的标准化提供了强大的技术支持。

2.3.4 优化课外体育锻炼全流程，实现锻炼高效化与科学化

课外体育锻炼其特点主要体现在参与方式、活动内容、组织形式、空间范围和自主选择性等方面，这些特点共同构成了课外体育锻炼的独特魅力。由于课外体育锻炼的形式和内容丰富多样，因此，教师很难根据活动形式来判断学生的活动量，而智能可穿戴设备通过集成先进的传感器技术和人工智能算法，已经能够对用户的体育锻炼进行全方位、精细化的监测和管理，从而优化课外体育锻炼的全流程，实现锻炼的高效化与科学化。通过采用高精度传感器和运动捕捉技术，智能穿戴设备能监测运动姿态，如跑步时的脚步着地方式、骑行时的踩踏力度分布等。结合人工智能算法分析，设备可即时反馈错误姿势，提供纠正建议，减少运动伤害，提高运动效率。在锻炼过程中，智能穿戴设备如智能手表、运动手环等，能够实时监测心率、步频、速度、卡路里消耗、运动距离等关键指标，帮助用户实时了解自己的运动状态。引导用户调整运动强度，避免过度训练或训练不足，用户可以清晰看到自己的进步轨迹，调整长期锻炼计划，实现持续的自我提升。许多智能穿戴设备通过连接社交媒体或特定健身 APP，允许用户分享运动成就、参与线上挑战，与朋友或全球用户竞争排名，增加锻炼的乐趣和动力。同时，这些平台也会提供勋章、奖励等激励机制，鼓励

用户坚持锻炼。部分智能穿戴设备还具备环境监测功能，如监测紫外线强度、空气质量等，为户外运动提供健康防护建议。在特殊时期，如疫情期间，还能通过体温监测等功能，保障锻炼者的安全。通过上述方式，智能可穿戴设备在课外体育锻炼中扮演着教练、监督者和激励者的角色，帮助用户实现锻炼的高效化与科学化，提升运动效果，同时增强运动的趣味性和可持续性。

2.4 在大众健身领域的应用现状

2.4.1 研发智能可穿戴设备，监测健身运动数据

随着大众健身运动的蓬勃兴起，基于可穿戴设备的智能健身产品研发正在高速发展。目前，智能可穿戴设备不仅局限于简单地记录运动者的步数、心率等，还能通过将“知识图谱+深度学习算法”嵌入智能可穿戴设备中使其可以动态、完整地监测和记录健身活动全过程，并且可以通过构建的算法模型对采集的数据进行处理与分析，从而能更加智能化、专业化、个性化地针对用户在体育锻炼过程中的身体活动状况进行监测，并能实时提供反馈建议和进行错误动作纠正，监测身体活动状况和能量消耗，预防运动损伤。随着人工智能技术的快速发展，基于深度学习能耗预测模型的人工智能驱动分析嵌入至可穿戴设备中，提高了健身过程中能量消耗监测结果的信效度^[15]。运动爱好者可根据自身健身需求及具体运动场景选择适合的智能可穿戴设备，精准量化分析运动数据，以最大限度地发挥体质健康监测设备的作用。

2.4.2 研发可穿戴智能化运动设备，辅助运动障碍人群健身

随着我国人口老龄化程度逐渐加剧，因年龄增长而出现的各种疾病（如心肺功能下降、骨质疏松等）成为导致运动障碍的主要因素。世界卫生组织（WHO）的相关调查显示，中国脑卒中发病率排名世界第一，且脑卒中发病正趋于年轻化^[16]。而抑制此类趋势的重要措施就是进行科学、长期的体育锻炼，需要应用精细化和智能化的可穿戴

设备进行实时监控，帮助运动障碍人群根据其锻炼时的机体状况制定个性化方案。例如，嵌入式惯性传感器被用于设计患者康复的功能性运动，基于心电和肌电的可穿戴设备可为脑和脊髓损伤的患者制定运动计划以恢复运动能力。近年来，智能可穿戴设备通过结合机器学习算法，实现了针对运动障碍患者的个体化诊疗和远程医疗^[17]。例如，可穿戴外骨骼被用于康复训练，嵌入的机器学习算法模型能结合用户的运动障碍情况及运动状态自动调节助力阈值，辅助患者重建神经肌肉运动模式。针对老年性疾病，以主动健康为导向，人工智能正在逐渐成为个性化运动处方制定的关键技术，推动着智能化可穿戴运动设备的高速、高质量发展。

2.4.3 建立慢病风险预测算法，指导科学健身和健康管理

智能可穿戴设备在指导大众健身和降低各类慢病风险方面发挥着重要作用。通过持续收集监测并记录用户的健康数据，包括心率、血压、血糖水平、睡眠质量以及日常活动量等，智能可穿戴设备能够为用户提供一个全面的健康状况概览，从而帮助用户更好地了解自己的身体状况。不仅如此，智能可穿戴设备还能根据这些数据预测慢病风险。例如，通过持续监测用户的心率和血压，设备可以及时发现异常情况，并提醒用户采取相应措施以降低心脏病和高血压等慢病的风险。此外，对于已经患有慢病的人群，这些设备还可以帮助他们更好地管理病情，如提醒按时服药、监测病情进展等。智能可穿戴设备的使用还能够提升用户的健康意识和自我管理能力。通过定期查看和分析设备提供的健康数据报告，用户可以更加清晰地了解自己的健康状况及潜在风险。这种自我认知的增强有助于用户更加主动地关注和管理自己的健康，及时采取预防措施以应对潜在的健康问题。基于这些健康数据及风险预测，智能可穿戴设备还能够为用户提供个性化的健身指导。通过分析用户的心率、活动水平等数据，设备可以推荐适合用户的运动类型和强度，确保锻炼既安全又有效。此外，设备还可以

根据用户的健身目标和进展情况，定期调整训练计划，以帮助用户持续取得进步。因此，智能可穿戴设备通过健康监测、个性化健身指导、慢病风险预警与管理以及促进健康生活习惯的养成等方式，有效地指导大众进行科学的健身活动并降低各类慢病的风险。

2.4.4 制定健身计划和提供互动平台，增强健身动力和良好习惯

健身动机是个体参与体育锻炼的重要内部驱动力，也是改善良好生活习惯的重要途径。可穿戴设备为用户提供了设定具体健身目标的平台，并通过进度条或提醒功能帮助用户达成这些目标。这种目标导向的方法能够有效增强用户的参与度和动力，让他们更有动力去坚持健身计划，并且这些智能设备可以根据用户的健身计划制定出健康合理的饮食清单和睡眠模式，提供营养建议和睡眠改善策略，全面促进健康生活方式。此外，许多可穿戴设备还提供了完善的社交平台，用户可以通过分享活动记录、成就甚至与他人竞争来增强健身的乐趣，促进用户的持续参与。这种社交互动不仅能够增加用户的动力，还能够建立一个支持和鼓励的社群，让用户感受到更多的支持和激励，同时也引导用户形成一个积极健康的心态。许多可穿戴设备引入了游戏化元素，通过设定明确的目标和奖励机制来激励用户。例如，当用户达到每日步数目标时，设备会给予小成就提示或者奖励，这种即时的正反馈能够显著提升用户的运动积极性，这种持续的正向激励有助于用户形成长期稳定的健康行为模式。同时，设备还支持与朋友间的健康竞赛，让用户在竞争中享受运动的乐趣，更容易养成坚持运动的好习惯。这种寓教于乐的方式不仅让健康管理变得有趣，还能帮助用户更好地达到健身目标。

2.4.5 研发脑机接口设备，提高功能受限人群的生活质量

随着人口老龄化趋势的日益显著，脑机接口技术为应对这一社会变革带来了革命性的解决方案，为提升老年人的生活质量开辟了新的可能性。对功能受限人群，脑机接口扮演着至关重要的角色，它不仅

可通过意念控制技术促进独立生活，还通过人机交互方式增强了社会参与度。首先，针对瘫痪或有严重运动功能障碍的个体，脑机接口技术能够帮助他们通过思维控制外部设备，如义肢、轮椅等，实现基本的日常活动和自理能力，帮助恢复运动和认知功能，甚至重新获得行走能力。其次，脑机接口设备可用于治疗记忆力衰退和其他认知功能障碍，通过刺激或辅助大脑相关区域，提升患者的记忆力和认知能力，并通过情绪监测工具，识别并缓解使用者的孤独、抑郁情绪，提升整体心理健康水平。最后，对于存在语言障碍的个体，脑机接口可作为一种交流工具，将他们的神经信号转化为语言或文字，促进与外界的沟通，减轻了因身体限制导致的社会隔离感。

2.5 本章小结

当前应用于体育场景的穿戴传感器包括心电、心率、肌电、呼吸、体温等生理传感器，以及位置、角度、加速度等运动学传感器，还有力、力矩等力学传感器。随着应用需求的不断明晰和演化，柔性化、小型化、轻质化成为穿戴传感器尺寸和形式的发展趋势。同时，还要求传感器具备高精度、高采样率、长待机时间等高性能，并具备防水、抗高/低温、防湿等性能以适应极端环境。在数据处理方法方面，还需要发展具有高信噪比的滤波技术，实现数据的自动、实时、同步处理。在未来的发展中，智能可穿戴设备需通过多源融合以集成更多传感器和功能。而随着人工智能技术的发展，个性化服务也将成为智能可穿戴设备发展的重要方向，通过收集用户的生理数据、生活习惯等信息，为用户提供量身定制的健康管理计划和运动指导，以极大地提升用户体验。除了应用于运动追踪和健康监测方面，可穿戴设备也将进一步与虚拟现实（VR）、增强现实（AR）体验、智能家居控制等领域相结合，成为物联网生态中的重要节点，与其他智能设备和云服务深度整合，形成全方位的生活服务网络。

第2章参考文献

- [1] Wu Y, Li Y, Tao Y, et al. Recent advances in the material design for intelligent wearable devices. *Materials Chemistry Frontiers*, 2023, 7(16): 3278-3297.[期刊]
- [2] Zhao C. Application of Virtual Reality and Artificial Intelligence Technology in Fitness Clubs. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 2021(1): 2446413.[期刊]
- [3] ACSM fitness trends. <https://www.acsm.org/education-resources/trending-topics-resources/acsm-fitness-trends>.[网页]
- [4] 霍波,李彦锋,高腾,等. 体育人工智能领域关键技术的研究现状和发展方向. *首都体育学院学报*, 2023, 35(03):233-256. [期刊]
- [5] Whiteley R. 'Moneyball' and time to be honest about preseason screening: it is a sham making no inroads on the 1 billion dollar injury costs in baseball. *British journal of sports medicine*, 2016, 50(14): 835-836.[期刊]
- [6] 陈小平. 竞技运动训练发展的主要趋势—科学化. *中国体育教练员*, 2022, 30(2):4-6. [期刊]
- [7] 苏炳添, 李健良, 徐慧华, 等. 科学训练辅助: 柔性可穿戴传感器运动监测应用. *中国科学: 信息科学*, 2022, 52(1):54-74. [期刊]
- [8] 北京冬奥会探索: 各种传感器一览. <https://www.sensorexpert.com.cn/article/57680.html>.[网页]
- [9] 让全身的肌肉都智能起来——Athos 智能压缩衣. <https://iranshao.com/articles/ 916-athos-smartwearable>.[网页]
- [10] Chidambaram S, Maheswaran Y, Patel K, et al. Using artificial intelligence-enhanced sensing and wearable technology in sports medicine and performance optimisation. *Sensors*, 2022, 22(18):

6920.[期刊]

- [11] Gao W, Brooks GA, Klonoff DC. Wearable physiological systems and technologies for metabolic monitoring. *Journal of applied physiology*, 2018, 124(3): 548-556.[期刊]
- [12] 蓝开辉. 基于人工智能技术的高校体育智慧系统研究. *西安文理学院学报(自然科学版)*, 2021,24(2):94-98. [期刊]
- [13] Li Z, Wang H. The effectiveness of physical education teaching in college based on Artificial intelligence methods. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2021, 40(2): 3301-3311.[期刊]
- [14] Wang L, Yan D, Zhang Y, et al. [Retracted] Analysis on the Reform and Development of Physical Education Services in the Context of 5G Connected Communication. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 2022(1): 5874248.[期刊]
- [15] O'Driscoll R, Turicchi J, Beaulieu K, et al. How well do activity monitors estimate energy expenditure? A systematic review and meta-analysis of the validity of current technologies. *British journal of sports medicine*, 2020, 54(6): 332-340.[期刊]
- [16] Feigin VL, Stark BA, Johnson CO, et al. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Neurology*, 2021, 20(10): 795-820.[期刊]
- [17] 何娟娟, 姚志明, 李波陈, 等. 基于可穿戴设备的帕金森病运动迟缓检测评估方法研究进展. *中国医疗器械杂志*, 2019, 43(6):432-435. [期刊]

第3章 计算机视觉技术

计算机视觉是人工智能的一个重要分支，主要是应用机器学习和神经网络等方法从数字图像、视频和其他视觉数据中获取信息。计算机视觉可根据目标任务细分为各种技术，包括图像处理、图像识别、图像分割、图像聚类、目标检测与跟踪、人体姿态估计、图像深度估计、人脸检测与识别、动作识别与分析、行为分析和理解、三维重建、基于视觉的生理特征检测、可视化、光学字符识别，等等。

计算机视觉技术当前已广泛应用于体育领域，且在未来有着巨大的应用潜力。基于应用场景和所用关键技术，体育领域的计算机视觉技术可以归纳为以下几类。图像识别：识别图像画面中的人体或装备，如生物体征、篮球、羽毛球拍等。运动跟踪：追踪视频中的运动对象，分析其运动姿态、轨迹和速度，并确保不受多人或复杂环境的影响。姿势估计：评估运动姿势和动作准确性，提供实时反馈。三维重建：通过多个摄像头捕捉的2D图像，重建3D场景模型及3D人体骨骼模型，以更全面地分析运动。动作识别与定位：以运动员的精准动作捕捉为基础，可实现对动作序列的类型判别与起始与结束动作定位。运动可视化：运动员和比赛场地的三维模型重建可用于可视化及进一步分析。深度学习：利用深度学习算法，提高系统对复杂动作和场景的识别和分析能力，提高动作识别的算法精度及其泛化能力。模式识别：识别和分类不同的运动模式，为教练员提供训练建议。异常动作检测：监测运动过程中的异常行为或潜在伤害风险并及时预警。数据融合：整合来自不同传感器和摄像头的数据，提供更全面的分析结果。

3.1 在竞技体育领域的应用现状

3.1.1 研发智能辅助训练系统，评估运动员动作质量

在竞技体育领域，通过系统的体育训练和科学的教学方法，运动员可以提升技术水平、增强体能。然而，传统的训练方法通常依赖于

教练的经验和肉眼观察，耗时耗力且准确性和科学性难以保证。此外依赖肉眼观察容易忽略部分关键细节，即使是经验丰富的教练，也可能因为观察角度、光线条件等因素而难以准确捕捉运动员的所有细节动作。此外，由于无法实时获取反馈结果，使得运动员在训练过程中无法即时了解自己的动作是否正确，导致错误动作得不到及时纠正，甚至在错误的动作模式下长时间训练，形成错误的运动习惯，影响训练效果和运动表现，甚至增加受伤的风险。随着竞技体育水平的不断提高，运动员的训练需求也在不断增加。运动员不仅需要在技术、体能和心理素质上全面提升，更需要采用更加科学和系统的方法来优化训练过程，减少训练中的无效投入和潜在的运动损伤风险。在这样的背景下，基于计算机视觉技术的智能辅助训练系统应运而生，通过运动员动作的精确捕捉和实时分析，成为提升训练效果和减少运动损伤的重要工具。

智能辅助训练系统的核心在于利用人工智能和计算机视觉技术，通过高精度摄像头和传感器对运动员的动作进行实时捕捉和分析。这些系统能够记录运动员的每一个动作细节，并生成详尽的数据报告。通过对这些数据的分析，教练和运动员可以获得关于动作技术、身体姿态、力量分布等方面的详细反馈，从而进行针对性的调整和改进。系统通常由视频捕捉、动作识别与跟踪、动作质量评估和实时反馈机制等多个模块组成。每个模块在整个系统中都发挥着关键作用，共同构建高效、精准的智能训练环境。

随着人工智能和计算机视觉技术的飞速发展，智能辅助训练系统在体育领域得到了广泛关注和应用。这些系统不仅能够提供更加科学和精确的训练方法，还能够通过大数据分析和机器学习，不断优化训练方案，提升运动员的整体表现。此外，智能辅助训练系统还可以记录和存储大量训练数据，帮助教练和运动员进行长期的训练效果评估和进度跟踪，制定更加合理和有效的训练计划。

3.1.2 构建视频辅助裁判系统，提高赛事判罚准确性

随着竞技体育的快速发展和比赛激烈程度的不断提高，裁判判罚的准确性和公正性已经成为比赛公正性的核心要素之一。在高强度的比赛环境中，裁判员的决策可能受到多种因素的影响，导致误判和漏判，从而对比赛结果产生重大影响，并损害运动员的公平竞争精神。视角限制是裁判判罚面临的一个主要挑战。裁判员在场地上的位置和角度可能无法覆盖比赛中的所有关键区域，尤其是在快速变化的比赛情况下，一些细节和动作可能因视角问题被遮挡或遗漏，导致裁判无法做出准确的判断。瞬间判断失误也是一个常见的问题。高强度的比赛要求裁判在极短的时间内做出决策，这种情况下，瞬间的视觉信息处理和判断容易出现错误。例如，在足球比赛中，判定越位或犯规的瞬间决策需要裁判在几秒钟内做出，而这段时间内可能包含多个复杂的运动和干扰因素。复杂的比赛环境进一步增加了裁判判罚的难度。在大型比赛中，观众的噪音、选手的快速移动以及不断变化的比赛局势都可能对裁判的判断造成干扰。这些环境因素增加了裁判员准确判罚的难度，误判和漏判的风险也随之增加。

为了应对这些挑战，视频辅助裁判系统（VAR）作为一种新兴技术应运而生，并在多个体育项目中得到广泛应用。VAR系统核心目标是在复杂的比赛环境中，通过技术手段检测出潜在的违规行为，并为裁判提供清晰的视频证据，协助裁判员做出更为公正的判罚决策，确保比赛结果的公平性。VAR系统的组成包括多角度视频捕捉、视频回放与分析、实时反馈机制和自动化判罚系统。多角度视频捕捉通过在比赛场地的关键位置布置多个高清摄像头，系统能够从不同视角捕捉比赛中的每一个细节。这些摄像头通常具有高分辨率和高帧率，能够实时捕捉快速运动的细节。这些高科技摄像头不仅能够捕捉到球员的每一个动作，还能够记录比赛场地的全景，提供全面的视觉资料，为裁判提供可靠的判罚依据。视频回放与分析通过计算机视觉和机器

学习算法对实时捕捉到的视频画面进行处理和分析。这些先进技术使 **VAR** 系统能够自动检测出潜在的违规行为，如越位、犯规等，并为裁判提供清晰的视频证据。自动化判罚系统是 **VAR** 技术发展的重要方向之一。尽管并不是所有的 **VAR** 系统都包含这一部分，但利用人工智能和深度学习技术，**VAR** 系统可以实现部分判罚的自动化，从而提高判罚效率和准确性。例如，通过深度学习在体育裁判系统中的应用，系统能够自动分析比赛中的各种数据，识别出潜在的违规行为，并生成自动化的判罚建议。这不仅减少了人为误判的可能性，还显著提高了比赛的流畅性，减少了比赛中的中断时间。

目前，**VAR** 已经广泛应用于各种体育赛事中，显著提升了比赛的公正性和判罚的准确性。在网球和羽毛球等快速节奏球类运动中，视频辅助裁判技术称为鹰眼技术^[1]。最早的鹰眼技术首次应用于 2001 年巴基斯坦和英格兰的板球比赛中，并于 2006 年正式引入美国网球公开赛。如图 3-1 所示，鹰眼技术通过多摄像头系统和三角测量原理，实现对球体轨迹的精确跟踪和实时回放，帮助裁判做出正确判决，显著减少了人为误判。通过 3D 动画回放和慢动作展示，观众可以更清晰地了解比赛过程和判罚依据，增加了比赛的透明度和观赏性。鹰眼系统在网球比赛中采用了一种称为电子线路判定（ELC）的双目立体视觉系统，该系统在网球场周围安装了十多个独立摄像头，以跟踪球员的击球和运动。其中，超高速摄像头可以以每秒 340 帧的速度记录球的运动，展示球的运行轨迹和反弹痕迹，精度高达 3.6 毫米。此外，鹰眼系统还可以集成更多的视频回放摄像头，通过远程控制摄像头，可以将视频中捕捉到的图像数字化存储在硬盘上，以便从不同角度进行分析。

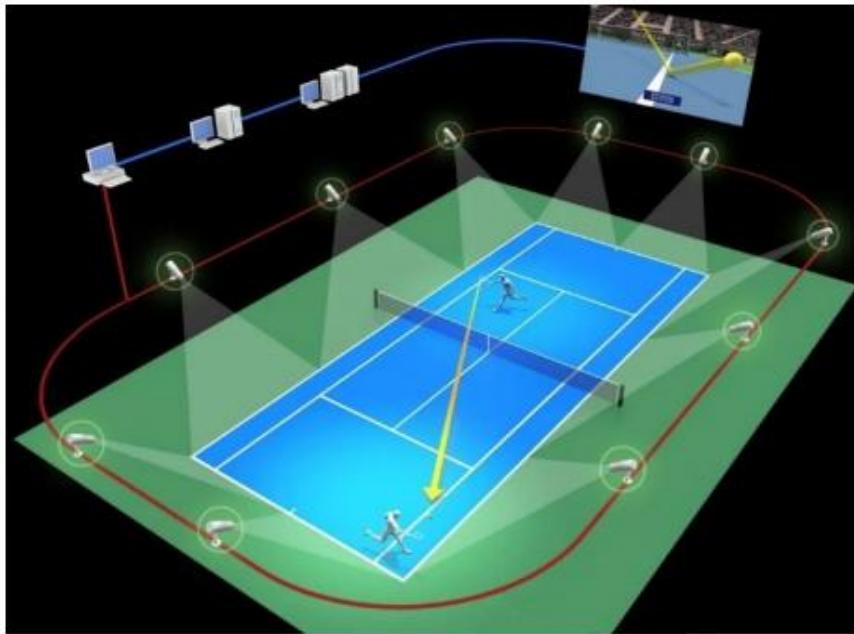


图 3-1 鹰眼系统辅助网球比赛判罚^[1]

足球比赛中，越位、犯规和进球等关键事件的判定往往直接影响比赛结果。VAR 系统通过多角度摄像头捕捉比赛的每一个细节，结合先进的视频分析技术，能够准确识别越位情况、判定犯规行为以及确认进球的有效性。当比赛中出现争议性进球时，VAR 系统能够迅速回放进球过程，并通过多角度分析确认进球是否有效，从而为裁判提供可靠的判罚依据。此外，为解决许多国家缺乏裁判员和 VAR 基础设施成本高昂的问题，Held^[2]等人提出了一种视频助理裁判系统（VARS），利用多视角视频分析的最新研究成果自动识别和分类足球比赛中的犯规行为，为裁判提供实时反馈，辅助正确判罚。同时，该系统引入名为 SoccerNet-MVFoul 的新数据集，包含多个摄像机视角下的足球犯规视频，并由专业裁判进行详细标注。在 SoccerNet-MVFoul 数据集上进行的实验表明，VARS 系统在犯规类型分类任务中的准确率达到 47%，在犯规严重程度分类任务中的准确率达到 43%，显示了其在实际应用中的潜力。

综上所述，视频辅助裁判系统在竞技体育中的应用极大地提高了判罚的准确性和公正性。通过多摄像头视频捕捉、计算机视觉算法分

析和实时反馈等技术手段，视频辅助裁判系统为裁判提供了强有力的技术支持。未来，随着技术的不断进步和应用的普及，视频辅助裁判系统将会在更多的体育项目中得到应用，为体育比赛的公平性和观赏性做出更大贡献。视频辅助裁判系统的广泛应用不仅提升了比赛的公正性，也增加了观众对比赛结果的信任和满意度。

3.2 在学校体育领域的应用现状

3.2.1 构建学校运动训练与教学系统，改善体育课堂教学效果

在普教、高教的教学训练及考核场景下，校园体育的技术应用升级经历了三个阶段，分别为传统人工阶段、信息化系统及物联网设备引入阶段以及人工智能应用初级阶段。在传统人工阶段下，体育教学主要依赖教师的直观观察和手动记录，体育技能及知识的授予主要依赖“言传”及“身教”，这种方法虽然直接，但效率较低，且容易受到人为因素的干扰。随着教育信息化改革的逐步深化，信息化系统也开始逐步覆盖以往人们关注较少的体育课堂中，这一阶段的特点是利用物联网的相关设备，如蓝牙/射频识别手环、红外识别、GPS 等相关设备进行相关身体数据的收集、存储和初步分析，提高了教学管理的效率和准确性，并进一步丰富了体育教学的维度。进入人工智能技术爆发阶段，校园体育技术应用迎来了质的飞跃，大量学校主动应用人工智能，将人工智能技术渗透体育教学环节方方面面，包括上课、训练、测试、考核、运动会、课后作业等各类场景。

计算机视觉结合人工智能技术，通过摄像头的视频捕捉学生运动过程，使得数据分析更加深入和智能，能够对学生的动作进行精确捕捉和分析，提供个性化的训练建议，甚至预测运动损伤风险。此外，还能够根据学生的学习进度和表现，自动调整教学内容和难度，实现真正的个性化教学。人工智能应用阶段的校园体育技术应用，不仅提高了教学的质量和效率，也为学生的全面发展提供了更加科学和人性

化的支持。随着技术的不断进步，未来的校园体育教学将更加智能化、精准化，为学生提供更加丰富和高效的学习体验。

基于计算机视觉的学校运动训练与教学系统，是应用场景与软硬件结合的深度融合，其前端形态一般由四大模块构成。视频捕捉模块负责实时捕捉运动员或学生的动作和运动过程，通常使用高清摄像头进行录制。显示交互模块用于展示捕捉到的视频流，并提供用户界面供教练员或学生进行交互，如暂停、回放、慢动作等。视频计算及处理模块负责对捕捉到的视频进行分析，使用计算机视觉技术识别和追踪运动中的各种参数，如速度、角度、姿势等。后端平台模块与后端服务器进行数据交换，存储分析结果，提供数据备份、恢复和远程访问等功能。

在运动场景下的人体具有多尺度、多姿态、存在密集遮挡的特性，应用场景也对视觉算法模型提出了轻量化的需求。为了实现高精度的人体检测，模型在多层特征融合的金字塔上分别做预测，实现对大中小等不同尺度目标的覆盖。针对运动过程中的人体表现出的丰富姿态以及严重遮挡问题，如仰卧起坐（图 3-2）、俯卧撑等的人体自遮挡，以及中长跑运动项目存在人员密集、人员之间的互相遮挡，需要从数据分布和标签分配的角度进行优化，以适应特殊姿态数据分布，提高模型对于特殊姿态的鲁棒性；网络训练中，为了提高预测精度利用网络预测输出的质量和分布，使用计算和优化方法来生成可靠的软标签代替根据给定规则生成的硬标签，以此减少歧义标签，提高模型在拥挤场景中的鲁棒性。



图 3-2 基于计算机视觉技术测试仰卧起坐^[3]

随着科技的不断进步，计算机视觉技术将与可穿戴设备、虚拟现实（VR）、增强现实（AR）等技术实现更深层次的整合。这种整合将为学生提供沉浸式的学习体验，使他们能够在模拟的环境中练习和完善运动技能。例如，通过 VR 技术，学生可以体验不同的运动场景和条件，而可穿戴设备则可以实时监测学生的生理状态和运动表现，为教练提供即时反馈。这种多技术融合的趋势将极大地丰富教学手段，提高教学互动性和学习效果。

深度学习等人工智能技术的应用，将使得动作捕捉和分析更加智能化和精准化。通过训练深度神经网络，系统能够识别和理解复杂的运动模式，从而为每个学生提供定制化的训练建议。此外，智能分析还能够预测学生的进步趋势和潜在问题，帮助教练及时调整训练计划。随着算法的不断优化，未来的智能分析将更加精细，能够捕捉到更微妙的动作差异，为个性化训练提供强有力的支持。

3.2.2 建立体育课堂智能预测系统，准确评估学生的运动损伤风险

在现代教育体系中，学校体育课程不仅承担着培养学生身体素质和运动技能的重要任务，更是塑造学生健康生活方式和团队合作精神

的关键环节。然而，如何在体育教学过程中有效地评估和预防学生运动损伤风险，一直是教育工作者面临的一项艰巨挑战。这一问题的核心难点在于，传统的体育教学环境往往缺乏高效的数据收集和分析手段，教师难以对所有学生的动作进行全面、细致的跟踪和分析，从而无法及时发现并预防潜在的运动损伤。

随着计算机视觉技术的引入，这一难题有了新的解决途径。视觉技术以其先进的图像捕捉和分析能力，为学生运动前的准备、课堂中的运动行为提供了一种全新的数据获取和分析手段。这一技术通过高精度的摄像头捕捉学生在运动中的每一个细节，结合强大的图像处理和模式识别算法，能够对学生的动作，甚至是针对该学生个性化的运动行为进行跟踪并进行实时的分析和评估（图 3-3）。在运动场景中的常见运动风险种类包含：由于人员碰撞或自我动作失衡所导致的运动跌倒，以及不当姿势或技术错误等可能造成的运动损伤。运动跌倒风险预警往往使用基于深度学习的人体姿态估计技术，通过识别人体关键点的变化来检测异常动作。当系统检测到人体姿态的急剧变化或不符合正常运动模式的姿态时，即判定为跌倒动作。



图 3-3 基于计算机视觉技术的运动损伤风险评估^[3]

当前，基于计算机视觉的运动损伤风险检测技术面临如下挑战。首先是技术复杂性。这不仅涉及到对异常运动行为的视觉分析模型的建立，同样也需要对运动生理学和生物力学原理等相关知识的深入理解，并将这些知识与系统相结合，一旦出现可能造成风险的动作时或异常生理信号时能迅速响应并进行预警。此外，单一视觉模型无法完全覆盖所有进行风险预警时可能需要的数据维度，所以可能需要通过引入其他传感器检测更多维度的信息，系统也就需要能够处理和分析来自不同源的大量数据，包括视频、传感器、生理监测等，这要求高度的数据处理能力和算法优化。其次是预警系统的响应速度。当前阶段，智能预测系统的响应时间可能受到数据处理速度、算法效率和硬件性能的限制。因此，提高系统的响应速度需要技术创新和硬件升级，以确保预警信息能够在关键时刻迅速传达给相关人员。再次是数据的连续性和完整性。为了确保评估的准确性，避免由于过多误报而造成相关管理人员困扰，需要持续收集和更新学生的运动数据。这要求建立一个稳定和可靠的数据收集机制，能够长期跟踪学生的运动表现和生理反应。同时，数据的完整性也需要通过数据清洗、验证和备份等措施来保证，以防止数据丢失或损坏。

未来运动损伤风险评估模型可以持续优化，以提高预测的准确性和可靠性。这可能包括开发新的算法、改进现有模型的参数调整，以及利用更大的数据集来训练模型。同时为了提高评估的全面性，需结合更多类型的数据。这包括生理数据（如心率、血压）、环境数据（如温度、湿度）以及心理状态数据，以获得更全面的运动表现和健康状态的视图。结合运动损伤风险评估，可提出个性化健康管理。针对不同学生，定制更加个性化的风险预警方案。系统将能够根据每个学生的运动历史、生理特点和健康数据，提供定制化的运动建议和健康管理计划。

3.3 在大众健身领域的应用现状

3.3.1 构建沉浸式运动健身系统，打造 AI+健身“元宇宙”

对于大众健身领域，提高身体健康、丰富文化生活、带动产业经济发展形成良性循环是主要目的。通过各种运动场景通过结合虚拟现实设备和训练项目已经成为 AI+健身元宇宙的新方向。人工智能技术能够更好地整合芯片、运动行为识别技术、虚拟现实与增强现实技术以及运动主动干预技术，形成针对不同层次年龄段的个体化运动健身系统，为最终实现沉浸式运动提供技术保障。经过多年的发展演进，已经从智能穿戴设备和传感器的单一数据采集阶段，发展到适应广大不同层次运动人群的 AR/VR/MR 沉浸式系统和大场景免穿戴沉浸式运动健身交互系统，人工智能可以实时监测用户的运动数据，帮助用户调整训练强度和方式，提高运动效果。

AR/VR 沉浸式运动健身系统通过计算机视觉技术进行位置跟踪、深度感知与物体识别跟踪，并结合语音识别、内容渲染生成等技术，将现实世界的完整运动过程及数据投射到虚拟环境中，并通过丰富的内容生成技术，提供全新的运动健身交互体验。用户戴上头戴式显示器后，即可通过它来观看虚拟世界和现实世界的融合画面。传感器将用户的动作实时捕捉并传输到计算机系统中，计算机系统利用传感器数据和预设的训练方案来生成相应的虚拟内容，并通过头戴式显示器展示给用户。其次，虚拟现实还可以与健身器材结合，提供更加真实的运动感受。比如，使用虚拟现实眼镜与运动单车相结合，用户原地骑车的动作转变为在虚拟的山路上进行骑行，这种互动性的设计不仅增加了锻炼的趣味性，还使运动更具挑战性，激发用户的积极性。



图 3-4 利用 VR 眼镜在虚拟现实环境中锻炼^[4]



图 3-5 与动感单车结合的虚拟现实锻炼^[5]

AR 系统还可以为游泳专业运动提供创新的训练方式。其利用波导光学技术和一系列板载传感器提供实时指标、指导训练和实时游泳指导。系统利用人工智能跟踪用户运动和显示时间、距离、划手频率和划手次数等指标；中心端通过获取大量实时数据反馈动作姿态的矫

正方案，通过前端进行“教练”指导，获得沉浸、高效的游泳运动体验。

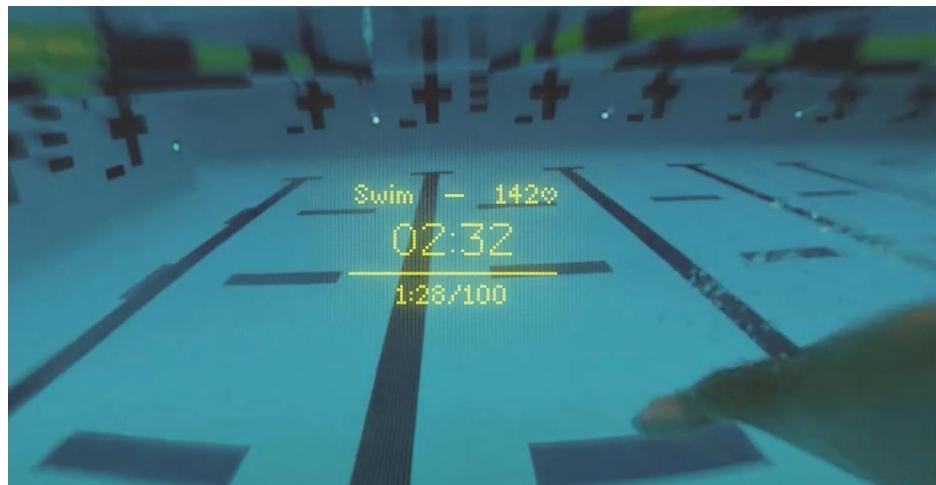


图 3-6 游泳教练辅助训练系统^[6]

随着元宇宙产业的深化，大场景沉浸式运动场馆异常活跃，以计算机视觉为核心技术，使无人机交互场景具备沉浸式体验价值。大规模沉浸式运动健身的核心价值体现为“适应广、免穿戴、高交互”，有效解决人群运动中的设备负担问题。相较于传统的元宇宙交互项目，弥补了单人、多人无法进行交互运动的短板，同时增强了真人与虚拟场景的互动体验，更加沉浸地体验互动的乐趣。



图 3-7 “元宇宙”沉浸式运动健身场馆^[7]

通常大场景沉浸式运动场馆具备人体姿态和动作跟踪识别技术、精准的装备定位与跟踪技术、云计算存储技术、大模型技术，结合可扩展的场地影音呈现系统、完整的沉浸式故事情节。其中视觉技术主要基于运动场景的 3D 重建技术，结合动作模型库及人体运动功能学的特点，利用双目、多目相机获取三维人体关键点进行运动姿态估计，并结合智能芯片运算平台进行高效视觉计算、深度获取、点云配准、网格重建等工作。通过运动姿态分析算法，使用算法融合局部和非局部的时空信息，可实现多种人体动作进行精细识别和运动行为分析，具备传统传感设备所不具备的运动过程跟踪以及人体姿态分析的能力。

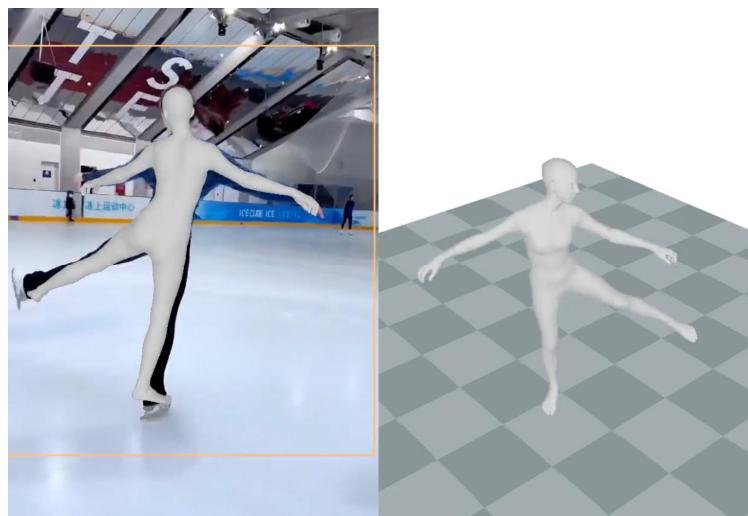


图 3-8 大场景下人体运动姿态估计与表面重建^[8]

在专业运动领域，大场景沉浸式运动交互中需要多模态大模型和全新形态的复杂 AIGC 系统，结合图像理解、自然语言处理、三维重建技术等多模态任务与数据，利用参数量更大的模型能力，提高系统对大场景的重建能力和人员行为的理解能力，并结合大语言模型的归纳推理能力，为用户输出更准确优质的内容。大场景沉浸式运动健身需要根据沉浸式内容引领进行运动，沉浸式内容展示中需要记录运动人员的实时位置，避免激烈运动产生碰撞伤害，因此基于时序光点编

码的视觉检测技术，可根据大规模人群的人体姿态变化位置，主动调节位置计算模型，保证采集数据的一致性、可靠性，避免遮挡或场景切换过程中出现的误识别问题。通过佩戴小型辅助装置，可有效解决大规模人群运动中视觉 ID 跟踪定位失效情况下人员重识别定位，或无视觉 ID 跟踪下的大规模人员定位问题。大场景沉浸式运动健身中的物联网技术将真实世界中的物理实体元信息，进行采集、传输、同步、增强之后，得到运动交互中可以使用的通用数据，打通了虚拟数字空间和物理现实空间的壁垒，通过一系列的坐标变换和运动规划，可以获取在沉浸式物理空间可执行的动作指令。

当前沉浸式运动健身系统，距离精准评价还有一定的技术应用过程。系统需要能够理解复杂的环境布局，进行空间推理和关系建模，以适应不同的健身场景，并完成对用户的形态、表情、手势等进行精细重建，以提供更真实的交互体验。此外，沉浸式运动场景的设计机制仍需要大量的优质运动内容进行丰富，无论是 APP、VR、场馆等，通过不同产品形态向用户进行传播培养，获得运动健身的收益。同时大模型时代下，用户隐私和数据安全如何遵守数据保护法规，确保技术应用符合相关法律法规，也是该行业发展中需要面临的合规问题。

3.3.2 研发智能健身教练系统，提供科学的健身指导

随着社会的发展，现代人要应付快节奏的学习、工作和生活，要面临越来越多的竞争和挑战，人们的生理和心理随时都有可能发生老化和病变，加上环境污染，慢性病发病率连年上升，亚健康人群与日俱增，心理问题更是屡见不鲜，这些都严重地威胁到了人类的健康，运动健康成为生活幸福指数的关键指标，人们在运动健身过程中更关注运动的科学性和运动损伤带来的风险。在大众健身计划的实施过程中，使面向科学健身运动的研究取得快速的发展和广泛的应用。因此，人工智能技术的普及为运动健身指导提供专业化的条件，不同层级的运动处方与运动健身的关联，造就了智能健身教练系统。

健身运动处方已成为各国实施健康计划的重要内容。健身运动处方的研究已具有较完整、成熟的理论和实践，已深入美国、加拿大、德国等经济发达国家的家庭、社会，许多发达国家非常重视应用健身运动处方提高国民的体质和健康素质。美国政府从 1990 年开始实施全国性健康计划《健康公民 2000 年》。美国总统体育与健康委员会组织专家制定出指导性《成年人有氧锻炼健身运动处方》，指导大众科学健身，使运动处方的应用成为实施体育健康目标的重要组成部分。日本从 80 年代开始，提出体育发展的两项基本任务：一是推广应用运动处方的理论和方法；二是改善体育设备，并在大、中、小学的学校体育中推广运动处方。他们改变了传统的以运动为中心的体育教学方法，确立了现代体育科学方法——以身体为中心的体育教学方法，即健康诊断—体力测定—确定锻炼目标—选择运动项目—制定运动处方—实施校内、外锻炼。按照以增强体质为中心的指导思想，体育教师指导学生制定运动处方。

为了应对这些挑战，智能健身教练系统作为一种新兴技术应运而生，并在多个体育项目中得到广泛应用。智能健身教练系统使用设备摄像头实时捕捉用户的动作，为后续的姿态估计和动作识别提供输入数据，利用人体姿态识别技术，生产实时、高精度人体姿态检测的算法，分析图像或视频中人体的姿态、动作和行为，实现对人体姿态的自动识别和分类，同时自动检测人体骨骼的关键点，以实现对人体动作的精确识别。在运动动作识别过程中，人工智能的深度神经网络对锻炼动作进行分类，以识别不同的健身动作，减少由于快速动作带来的噪声，提高识别的准确性。大模型优化技术可实现各类人群在不同运动中的数据分析和个性化运动处方推荐，兼容不同的使用环境和设备性能。

智能健身教练系统是一个集成了多种人工智能技术的综合性应用系统，旨在为用户提供更加个性化和科学的健身指导。一方面通过

视觉识别技术（如 2D 或 3D 人体姿态评估）来识别用户的运动动作，并提供动作纠正建议；另一方面，根据用户的身体状况、健身目标和偏好，智能生成定制化的健身计划，配合可穿戴设备或内置传感器监测用户的心率、卡路里消耗等关键指标，并提供实时反馈。运动前、中、后期，通过收集和分析用户的健康数据，如体重、体脂率、肌肉量等，以跟踪健身进展和调整计划，提醒用户锻炼并管理健身日程。

目前，智能健身教练系统已经广泛应用于各种体育运动中，显著提升了各类运动健身的规范性和运动教学的有效性。基于多相机融合算法，通过多相机下的人体对应和姿态融合，使实时视频转化为精准的、可量化的实时姿态数据，通过多类运动的动作捕捉后，产生的深度神经网络模型，通过学习的方式自动抽取丰富的多尺度人体特征信息，准确定位并生成人体关键点精细热度图，支持重要人体关键点的精准定位和评价。

在长跑运动中，智能健身教练系统由高清摄像机、智能计算、大模型等组成，覆盖户外的跑道、健身器械等活动区域，使用过程中，通过人脸识别、芯片感应，可以实时查看运动状态，包括运动距离、时长、配速、能耗、排名等，跑步姿态的捕捉在超高清摄像头下，识别距离可达 10 米，识别速度在 100 毫秒以内。除了运动健身过程的基本运动信息反馈外，使用者通过 APP，输入个人相关身体参数，就能在锻炼结束后，会收到一份详实的健身报告，对于跑姿、步幅、频率等运动技巧给予运动建议，同时支持远程医疗诊断，让运动更科学。

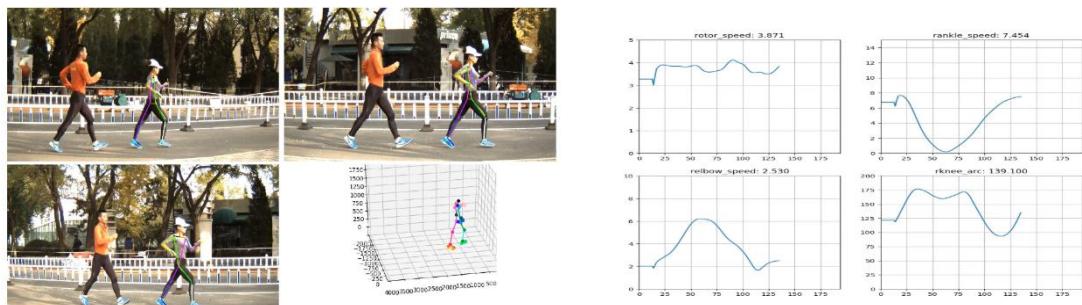


图 3-9 长跑运动中智能健身教练系统的应用^[3]

在篮球运动中，智能健身教练系统通过3D动作识别技术、投影融合技术打造了人工智能的篮球教练，系统由多个双目深度摄像机、边缘智能计算设备、投影融合设备、运动渲染主机、动捕系统等模块组成。高清摄像机群组具有帧同步能力，将实时捕捉的篮球运动人群送到边缘计算设备中处理，确保所有人员和篮球REID的正确，融合后的运动效果、高光时刻还可以通过“微信小程序”下载。

智能健身教练系统实时采集篮球运动者的比赛数据、体能数据，系统可以预制篮球战术和战术执行跑位，同时投影融合系统收到篮球战术信息后，将人员跑位转化为屏幕内容，引导运动者进行跟随跑位，达到针对性训练的目的，最终大数据分析将收集的数据进行处理，可生成虚拟的人工智能教练训练指导影像，让每一位球员、篮球爱好者和观众都能随时随地的接受最优化的篮球训练指导。



图3-10 篮球运动中智能健身教练系统的应用^[3]

3.4 本章小结

计算机视觉作为人工智能的一个重要分支，正在迅速改变体育领域的训练、比赛和管理方式。目前，该技术已广泛应用于运动员动作分析、视频裁判系统、学校体育教学以及大众健身，展现出巨大的潜力与优势。在竞技体育方面，智能辅助训练系统通过高精度的动作捕

捉与实时反馈，帮助运动员提升技能并减少受伤风险。同时，视频辅助裁判系统（VAR）利用多角度视频和计算机视觉技术，提高了判罚的准确性与公正性，保障了比赛的公平性。在学校体育中，计算机视觉与人工智能结合，为学生提供个性化的训练建议，实时监测运动表现，显著改善了教学效果。此外，运动损伤风险评估系统通过精准分析运动姿态，为教师提供有效的预警机制，从而更好地保护学生的安全。在大众健身领域，沉浸式运动健身系统结合虚拟现实与增强现实，创造了全新的运动体验。这不仅提升了锻炼的趣味性，还能根据用户的运动数据实时调整训练计划，推动健身的个性化和智能化发展。展望未来，随着技术的不断进步，计算机视觉在体育中的应用将更加广泛与深入。深度学习和多模态数据融合等先进技术的结合，将提升系统对复杂运动模式的理解与分析能力。此外，智能分析和实时反馈将使体育训练更加科学化和个性化，推动运动员与大众健身者在效率与安全性上的提升。总之，计算机视觉在体育中的应用不仅提高了训练与比赛的效果和安全性，也为未来体育产业的发展开辟了新的方向。随着技术的持续进步，未来的体育世界将更加智能、互动与高效。

第3章参考文献

- [1] Liu C, Wang W, Liu H, et al. Application of Hawk-Eye Technology to Sports Events. In: 2022 2nd International Conference on Information Technology and Contemporary Sports (TCS). IEEE, 2022: 1-5.[会议论文集]
- [2] Held J, Cioppa A, Giancola S, et al. Vars: Video assistant referee system for automated soccer decision making from multiple views. In: Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.2023: 5085-5096.[会议论文集]
- [3] www.deepglint.com. [网页]

- [4] 随着需求的增加，虚拟和在线健身市场将突破 2500 亿美元. 2024.
<https://www.163.com/dy/article/IPCHJ1FM0511A3UP.html> [网页]
- [5] 深圳市智能穿戴产业联合会. VR 健身自行车，真实为你还原骑自行车时的身体会感受. <http://www.fswi.org.cn/news-detail-2253.html>. [网页]
- [6] Form 发布 Smart Swim 2 goggles 智能泳镜，可实时显示运动状态. 2024. <https://xueqiu.com/3331247475/284758599>. [网页]
- [7] 央视直播点亮服贸会元宇宙体验馆—多应用场景集中展示元宇宙生态. 2022.
https://kfqgw.beijing.gov.cn/zwgkkfq/yzxwkfq/202208/t20220831_2804038.html. [网页]
- [8] 格灵深瞳在首届花样滑冰动作识别竞赛中夺冠. 2024.
<https://www.deepglint.com/> . [网页]

第4章 体育大数据技术

大数据是一种在获取、存储、管理、分析等方面大大超出了传统数据库软件工具能力范围的数据集合。它具有数据量大、数据类型繁多、处理速度快、价值密度低和真实性五大特征^[1]。大数据技术是指一系列用于处理、存储、分析和可视化海量数据的技术、工具和方法。大数据技术的核心目标是通过高效的工具和方法，从庞大、复杂的数 据集中提取有价值的信息和洞察，支持业务决策和创新。

体育作为人类活动的重要组成部分，不仅在体育运动中占据重要地位，还在文化交流、社会发展和经济繁荣方面发挥着至关重要的作用。其影响力之广泛，以奥运会为例，全球数十亿观众通过电视、网络等渠道观看比赛，参与这一盛会的国家和地区数量达 200 多个。据统计，仅在 2020 年奥运会期间，通过中国央视频客户端奥运赛事总观看量超 15 亿次^[2]。竞技体育的商业价值也不容小觑。以足球世界杯为例，2023 年卡塔尔足球世界杯为举办地带来了高达 147 亿美元的经济收益，包括门票销售、电视转播权费和赞助商收入等多方面的经济活动。世界杯期间，现场观看世界杯的观众人数高达 340 万^[3]。

体育能力的提高并非一蹴而就，而是通过长期、系统地训练和科学地管理逐步实现的。在这个过程中，体育生成的数据量极为庞大，且具有高维度和复杂性。这些数据涵盖了从日常训练到比赛实况的方方面面，包括运动表现、生理指标、技术动作和战术安排等。在这种背景下，大数据技术的引入无疑为竞技体育注入了新的活力。大数据的特性恰好契合了体育数据的特点，使得大数据技术在体育中的应用具有巨大的潜力。

4.1 在竞技体育领域的应用现状

大数据技术在竞技体育领域的应用日益广泛，通过构建个性化训练模型、定量化预测和控制运动负荷，以及建立智能化精准训练服务

平台，全面提升运动员的训练效果和比赛表现。个性化训练模型利用传感器和生物监测设备的数据，帮助教练团队评估运动员的体能、技术和战术水平，制定科学的训练方案，优化比赛策略，并预防运动伤病。定量化管理运动负荷，通过监测外部和内部负荷，利用急慢性负荷比（ACWR）等指标^[4]，科学地调节训练负荷，避免过度训练和疲劳积累，从而有效预防运动损伤。智能化精准训练服务平台通过实时数据采集和多模态数据综合分析，全面评估运动员的竞技状态，为教练员和运动员提供科学的训练指导和决策支持^[5]。尽管面临数据整合、实时监控和建模等技术挑战，随着人工智能、机器学习和5G技术的发展，未来的智能训练平台将在数据分析、实时反馈和传感器应用方面取得更大突破，提高竞技体育的整体水平和运动员的职业寿命。

4.1.1 构建个性化运动训练模型，分析运动训练及比赛中的规律

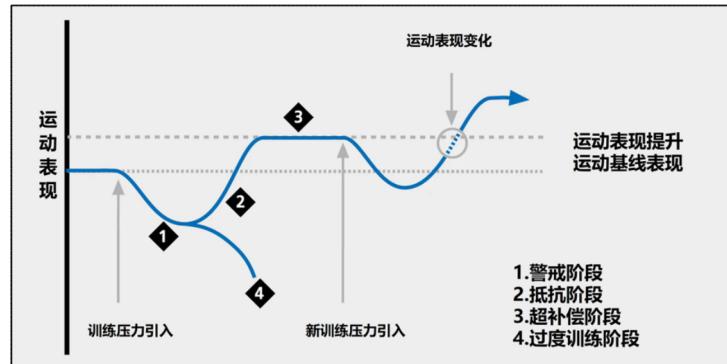
大数据分析在竞技体育中的作用日益凸显，通过科学的分析手段，可以在多个方面提升运动员的表现和比赛的策略制定^[5]。首先，运动员表现评估是大数据分析的重要应用之一。通过对运动员训练和比赛表现的数据进行详细分析，可以全面评估其体能、技术和战术水平。例如，利用运动传感器和生物监测设备采集的数据，可以准确地追踪运动员的心率、运动轨迹、力量输出等关键指标，从而帮助教练团队了解运动员的真实状态，及时调整训练计划。其次，战术分析和优化是提升竞技水平的关键。通过对比赛数据的深入分析，可以发现比赛中的战术规律，优化比赛策略。例如，足球比赛中，通过分析球队和对手的传球网络、跑动轨迹和防守布局，教练可以制定出更具针对性的战术安排，提高球队的胜率。运动伤病预防也是大数据分析的重要领域。通过对运动员生理数据的持续监测和分析，可以预测和预防运动伤病的发生。例如，通过分析运动员的疲劳水平和训练负荷，能够提前发现可能导致伤病的风险因素，从而采取预防措施，保障运

动员的健康和训练连续性。训练方案的制定需要充分考虑运动员的个体差异。每位运动员的身体素质、训练反应和适应能力各不相同，因此个性化的训练计划尤为重要。大数据技术可以帮助教练根据运动员的具体情况，制定科学合理的训练方案，提高训练效果。例如，通过对训练数据的分析，可以确定每位运动员的最佳训练负荷和恢复周期，从而避免过度训练和训练不足。在运动技术教学方面，先进技术也发挥了重要作用。通过运动捕捉和视频分析技术，可以对运动员的技术动作进行详细的解析和优化指导，提高技术水平。

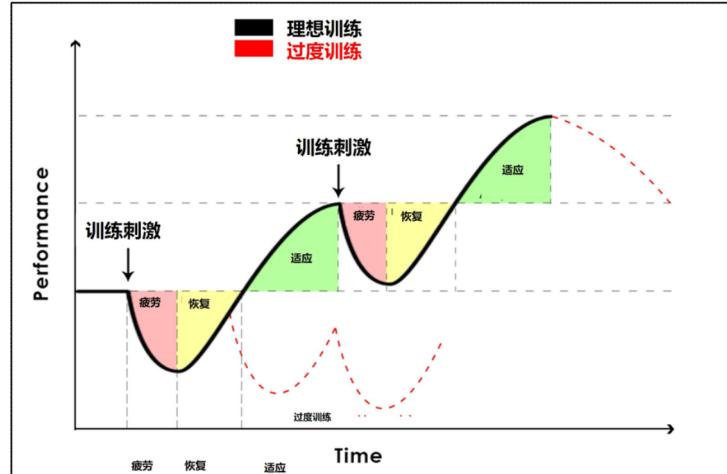
运动员在运动表现中的个体差异性特征明显，这需要引入科学化的训练模型，以运动员个体为特征进行训练规划。个性化的运动训练模型可以从多个维度进行任务划分。基于力量、速度、耐力等身体素质或运动表现能力的训练监控模型包括以下几个关键概念和阶段^[6]：

- ◆ 全身适应综合征（General Adaptation Syndrome, GAS）：这一理论将训练应激划分为三个阶段——警觉期、抵抗期和衰竭期。运动员在面对训练负荷时，身体会经历一系列的适应和调整过程（图 4-1a）。
- ◆ 刺激-疲劳-恢复-适应模型（Stimulus-Fatigue-Recovery-Adaptation Model, SFRA）：该模型强调训练刺激引发的疲劳和随之而来的恢复与适应过程，通过合理的训练安排，优化运动员的表现（图 4-1b）。
- ◆ 适应疲劳模型（Adaptation Fatigue Model）：这一模型重点关注训练负荷与恢复之间的关系，帮助教练合理安排训练和恢复周期，避免过度训练导致的疲劳积累（图 4-1c）。

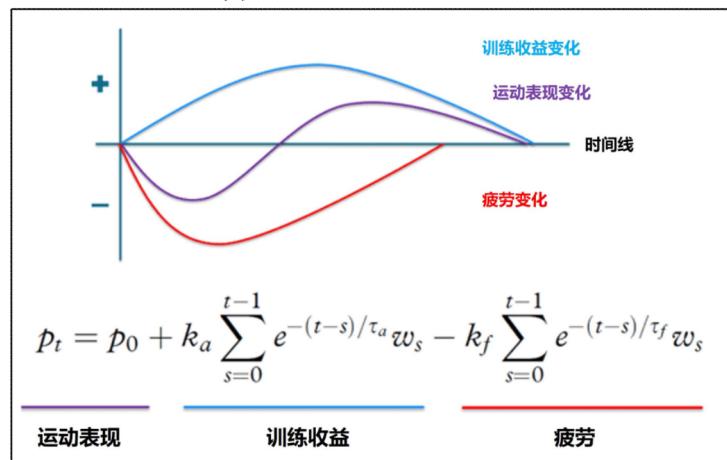
在具体运动技能的训练模型中，例如跑步、游泳、球类运动技能的学习与控制，生态动力学模型（Ecological Dynamics Model）提供了一个全面的框架。该模型强调个体、任务和环境之间的相互关系，通过动态的系统互动来优化运动技能的学习和表现^[6]。



(a) 全身适应综合症



(b) 刺激-疲劳-恢复-适应模型



(c) 适应疲劳模型

图 4-1 三种训练监控模型的概念图

4.1.2 定量化预测和控制运动负荷，实现运动损伤的智能化预防

运动负荷是指运动员在训练和比赛过程中所承受的生理和心理压力。根据时间维度，运动负荷可以分为急性负荷（单次训练或比赛

期间的负荷)和慢性负荷(长期训练累积的负荷)。运动负荷的科学管理是实现运动员短期和长期适应能力提升的关键,教练员和运动员通过调节训练负荷,可以促使运动员在不同阶段实现不同的训练目标。

量化负荷的方法多种多样,包括外部负荷和内部负荷的测量^[7]。外部负荷主要通过客观数据,如训练距离、速度、训练时间和重量等进行量化;而内部负荷则通过运动员的生理和心理反应,如心率、血乳酸水平、感知疲劳度等指标进行评估。这些量化方法可以帮助教练员制定更科学的训练计划,并根据实际情况进行调整。

负荷与疲劳之间存在密切关系。适度的负荷可以促进运动员的适应和提高,但过度的负荷则可能导致过度疲劳和运动损伤。因此,科学地管理和控制运动负荷,对于保持运动员的健康和竞技水平至关重要。运动员健康是竞技体育成功的基础,预防运动损伤尤为重要。例如,一位顶级足球运动员因伤病缺席赛季,不仅会对其个人成绩产生重大影响,还会对俱乐部的市场价值和经济收益带来巨大损失。

控制负荷是预防运动损伤的重要手段之一。通过合理的训练安排和负荷监控,可以有效减少运动损伤的发生率。急慢性负荷比(Acute Workload Ratio, ACWR)是近年来受到广泛关注的一个量化指标。ACWR通过比较急性负荷与慢性负荷的比值,帮助教练员判断运动员是否处于适应状态,从而调整训练负荷以预防伤病。研究表明,当ACWR维持在0.8到1.3之间时,运动员的伤病风险较低;而当这一比值过高或过低时,伤病风险则显著增加。此外,还有其他量化负荷的概念在预防运动损伤中发挥重要作用。例如,训练负荷和恢复比例关系可以帮助评估训练后运动员的恢复情况,确保其在下一次训练前有充分的恢复时间^[6]。通过监测运动员的疲劳累积,教练员可以有效识别潜在的疲劳积累,从而控制和预防运动损伤的风险。长期监控训练负荷和疲劳标记能够有效地预测和预防运动员的受伤和疾病^[7]。

总的来说，通过定量化预测和控制运动负荷，可以实现运动损伤的智能化预防。这不仅有助于提高运动员的训练效果和比赛表现，也能有效延长运动员的职业寿命，提升竞技体育的整体水平。大数据技术在这一过程中发挥了关键作用，通过对海量训练和生理数据的分析，提供科学依据，支持教练员和运动员做出更明智的决策。

4.1.3 构建智能化精准训练服务平台，分析运动员竞技状态

智能化精准训练服务平台的构建在现代竞技体育中具有重要性。随着体育竞赛水平的不断提升，运动员的训练和竞技状态需要更加科学和精准的管理。智能化精准训练服务平台通过利用先进的大数据技术和传感器技术，能够提供全面的运动员数据采集、分析和反馈系统，为教练员和运动员提供科学的训练指导和决策支持^[8,9]。

大数据技术在智能化精准训练服务平台中的应用，极大地提升了训练的科学性和精确性。例如，Catapult 系统利用传感器技术对球类等团体项目进行实时数据采集、分析与监控^[10]。通过在运动员身上佩戴小型传感器，Catapult 系统可以记录运动员的跑动距离、速度、加速度等多种运动表现数据，并通过大数据分析提供详尽的运动表现报告。另一个例子是 Polar Flow 平台^[11]，基于佩戴的心率传感器，实时采集运动员的心率变化情况，分析训练负荷，评估运动员的竞技状态。这些平台通过数据的实时监控和分析，为教练员和运动员提供了科学的训练指导和优化方案。

在竞技状态分析方面，智能化精准训练服务平台可以通过多模态数据的综合分析，全面评估运动员的竞技状态。这些数据包括生理指标（如心率、血氧饱和度）、运动表现数据（如速度、力量）、技术数据（如动作质量、技术稳定性）和心理状态数据（如情绪波动、压力水平）。通过对这些数据的综合分析，平台能够构建多因素综合评估模型，对运动员的竞技状态进行全面、准确的评估。例如，基于心率变异性（HRV）和运动表现数据，可以评估运动员的疲劳程度和恢

复情况，从而优化训练负荷，预防过度训练和运动损伤。

然而，构建和应用智能训练平台也面临着诸多技术和实践上的挑战。首先，多模态数据的采集和融合是一个复杂的过程，不同设备和传感器的数据格式和标准不一，需要进行有效的整合和标准化处理。其次，实时监控和数据传输的技术难题也亟待解决，高速、稳定的数据传输是实现实时反馈的基础。此外，构建准确的数学模型，对运动员的竞技状态进行科学评估，也是一个具有挑战性的任务。这些模型需要考虑多种因素的相互影响，进行复杂的计算和分析。

未来，随着技术的不断进步，智能化精准训练服务平台将会在多个方面取得更大的突破。例如，随着人工智能和机器学习技术的发展，运动表现数据的分析和预测将更加精准和智能化。**5G** 技术的普及将大幅提升数据传输的速度和稳定性，使得实时监控和反馈更加高效。生理传感器和可穿戴设备的进一步发展，将提供更全面、更准确的数据支持。

4.2 在学校体育领域的应用现状

大数据技术在学校体育领域的应用显著提升了体育教学的效果和管理水平。通过计算机辅助体育教学系统，传统教学方法的局限性得以突破。智能手环、心率监测设备等工具实时采集学生运动数据，并通过大数据分析生成个性化训练建议，提升教学精准性和科学性。例如，智能篮球训练系统利用人工智能技术分析投篮姿势和球轨迹，提供即时反馈，提高学生的投篮准确性和训练效率^[12]。然而，数据采集的准确性和设备兼容性仍是挑战，教师需要具备相应的技术素养。数字孪生技术在智慧体育校园平台的应用，将体育教学场景全面集成，通过**2D/3D** 建模技术和传感器数据采集^[13]，实现物理环境、教学信息、教学过程和教学管理的数字孪生。通过教务系统、教学管理系统等数据共享，动态展示教学信息和实时现场情况，提供全面的教学支持。人工智能技术的应用进一步提升体育教学效果，如基于标准

动作库的运动动作解析和评价，帮助学生自主学习和技术提升。尽管面临技术和实践挑战，未来随着人工智能和大数据技术的进步，学校体育领域将实现更高效、更精准的教学管理和训练指导^[14]。

4.2.1 构建计算机辅助体育教学系统，改善体育教学效果

计算机辅助体育教学系统在现代教育中扮演着越来越重要的角色。这类系统通过信息技术和数据分析，为体育教学带来了全新的方法和工具，极大地改善了教学效果。传统的体育教学方法面临着诸多挑战，如资源有限、教学方式单一和难以满足学生个性化需求。计算机辅助体育教学系统通过引入先进技术，为解决这些问题提供了有效途径。

大数据技术在计算机辅助体育教学系统中的应用，极大地提升了教学的科学性和精准性。通过对学生在体育活动中的数据进行实时采集和分析，可以全面了解学生的体能状况、技术水平和心理状态，为教师提供科学的教学依据。例如，通过智能手环、心率监测设备和运动传感器等设备，实时采集学生的运动数据，并通过大数据分析，生成详细的运动报告和个性化的训练建议。

应用计算机辅助教学系统改善教学效果的案例已经逐步纳入体育技术教学领域。例如，引入了智能化的篮球训练系统，通过人工智能技术实时分析学生的投篮姿势和球轨迹，并提供即时反馈，帮助学生调整动作，提高投篮的准确性和训练效率。研究表明，机器视觉技术在这一领域的应用尤为广泛，通过高速摄像和传感器捕捉运动员动作细节，用于评估技术执行质量和运动效率。例如，在网球和田径等个人项目中，机器视觉技术可以详细分析运动员的动作，指导技术调整和训练^[13]。此外，机器学习和机器视觉结合，为运动表现提供实时反馈，如在篮球训练中，人工智能系统实时分析投篮姿势和球轨迹，提供即时反馈以提高准确率，提升训练效率。

计算机辅助体育教学系统在实际应用中也面临一些技术和应用

上的挑战。数据采集的准确性和完整性仍然是一个关键问题，不同设备和传感器的数据兼容性和标准化程度不足，导致数据分析效果受限。此外，计算机辅助教学系统的普及和推广还需克服技术成本和设备维护等问题。教师在应用这些高科技手段时，也需要具备相应的技术素养，这对教师培训提出了新的要求^[15]。

未来，计算机辅助体育教学系统的发展潜力巨大。随着人工智能和大数据技术的不断进步，这类系统将在数据分析、教学反馈和个性化教学方面取得更大的突破^[16]。例如，机器学习算法的优化将使得运动表现预测更加精准，实时监测和反馈将更加高效。未来的发展方向还包括更加个性化的教学方案、更高效的教學反馈机制和更全面的学生运动数据分析。

4.2.2 集成展示校园体育教学场景，建设“数字孪生”智慧体育校园平台

数字孪生是以数字化的方式建立物理实体的多维、多时空尺度、多学科、多物理量的动态虚拟模型来仿真和刻画物理实体在真实环境中的属性、行为、规则等^[17-19]。数字孪生由物理实体、数字孪生模型、数字孪生数据、服务及上述四部分间的连接与交互组成^[18]。应用数字孪生技术将体育教学场景集成起来，构建以大数据为核心、以数据共享交换为基础、以体育教学管理的场景化需求为驱动、以提高教学产出效率和质量为目标的智慧体育校园平台，实现全量教学数据的“一网汇聚”、全景教学信息的“一图通览”和全域教学活动的“一屏治理”，是体育教学智慧化管理的需要。

物理环境孪生是运用物理建模仿真技术和传感技术将现实物理环境映射到虚拟数字空间的过程，是数字孪生的基础^[20-22]。应用倾斜摄影等测绘技术和 2D/3D 建模技术，建立校园全局实景模型，展示办公楼、教学楼、体育场馆、场地等地面建筑物以及道路、景观、植被等其他物理元素的真实面貌；对于教学场所、训练场所、运动场所

等重点部位，建设空间内部实景模型，展示体育教学环境、装备等的真实情况；对于关键建筑物，还可以通过 BIM（Building Information Model）建模技术，建立建筑物内的管线、设备等的详细模型。另外，通过系统或设备接口、传感器采集、RPA（Robotic Process Automation）等不同方式，将物理环境中各设备、设施的基础信息和运行状态采集并汇聚到平台，与 2D/3D 实景模型集成起来，通过 UE（Unreal Engine）、Unity3D 等引擎或者提供符合 WebGL 标准的渲染展示，实现对体育教学物理环境和基础设施真实场景、基础信息和运行状态的数字孪生。

教学信息孪生是通过与学校教务管理、教学管理、人事管理、互联网教学等各相关系统的互联互通和数据共享，将班级设置、学生信息、教师/教练信息、课程安排信息、教室/体育教学场馆/场地安排信息、门禁系统等信息数据的汇聚到平台，并与对应的物理环境元素关联、集成，在物理环境孪生模型中动态地展示、查询、统计、分析实时的教学信息，实现教学信息在虚拟世界中与物理世界的真实关联和数字孪生。

教学过程孪生是指将校园、体育场馆和教学场所的视频监控接入孪生平台，并把关键点位的真实视频图像信号与 2D/3D 物理环境模型集成，实现在虚拟的孪生环境中展示真实的教学现场实况、体育训练实况和校园实时情况。通过接口开发等技术实现与智能体育教学装备和实时检测装置联网，将教师和学生的运动状态、身体机能等各类数据实时采集、汇聚到平台。通过数据接口、智能采集和教师录入等不同方式，实现将教学、训练过程中的运动量、课堂测验、标志性成绩、教师评价等过程数据汇聚到平台。将这些数据与 2D/3D 物理环境模型集成，实现在虚拟环境中对教学实况、运动过程、教学过程等数据的实时汇总、展示、查询、统计、分析，完成对真实教学现场和过程的数字孪生。

教学管理孪生是将数字孪生系统与教务系统、教学质量保障系统等教学管理系统互联互通、数据共享，在虚拟环境中实时地观摩真实教学实况、查询教学过程数据，在线、实时地完成教学督导、教学评价、学生反馈等教学管理工作，实现教学管理活动的数字孪生。

智能教学训练是指应用人工智能技术对教学现场的视频图像进行分析，实现人体关节数据的无标记采集，然后使用智能算法开展基于标准动作库的运动动作解析、评价和智能指导，便于学生分析技术动作差距、开展自主学习；应用数字人技术实现在线虚拟授课和技术动作的深度指导；将采集到的运动过程数据、身体技能数据、过程评价数据、教学视频数据进行汇总，运用统计学习、深度学习、大模型分析和多模态分析等人工智能技术，构造面向问题的分析模型，探索教学和训练规律，提高体育教学效果和质量。

4.3 在大众健身领域的应用现状

国家高度重视大众健身的智慧化发展，将在“十四五”期间重点推广“互联网+健身”和“物联网+健身”，建设数字化全民健身服务平台、社区体育活动服务平台等^[23]，从事体育健身服务的互联网运营商和实体运营商也建设了各自的信息化平台，这些系统和平台是大众健身智慧化空间的基础，它们之间如在未来能实现互联互通和数据共享，将为公众提供更加便捷的智慧服务。

大众健身服务需要解决“去哪里健身”“如何方便健身”和“如何科学健身”等问题，使用大数据技术构建的智慧化健身空间将为解决这些问题提供基础，例如：实现公共体育场馆、场地、设施和服务情况的大数据资源汇聚之后，居民能够方便地查询、搜索和选择合适的健身场所，政府能够进行服务资源均衡化布局的规划^[24]；实现群众体育赛事活动信息的集约化管理之后，居民能够方便地浏览赛事活动信息并便捷地完成报名，或者在线参加比赛^[25]；实现公共体育服务场所、第三方线上和线下健身平台等健身大数据的汇聚之后，能够形成

居民全面的健身画像并为其提供科学健身指导和安全健身预警^[26]；实现个人健康信息和体质健康检测的大数据汇聚之后，能够为居民推荐个性化运动处方和健身指导；对运动处方执行全过程的数据采集和分析，能够开展处方执行效果评估和运动处方库的进一步优化和完善；等等。总之，大数据技术是推动大众健身服务智慧化发展的基础要素，基于大数据技术的智慧化健身空间，能够提升大众健身的科学性、便捷性、趣味性，促进健身服务更加智能化和个性化。

4.3.1 构建多平台互联互通的大众健身智慧化空间，以实现信息不断迭代和更新

推动大众健身智慧化发展是国家“十四五”体育发展规划的一项重要内容，是一项涉及多个方面的系统性复杂工程。国家体育总局已经明确在“十四五”期间将要重点建设的内容包括：推进“互联网+健身”“物联网+健身”，大力推广居家健身和大众健身网络赛事活动；创建涵盖大众健身群众组织、场地设施、赛事活动、健身指导、器材装备等内容的数字化大众健身服务平台，创新大众健身公共服务模式；开发国家社区体育活动管理服务系统，推动建立国家、省（区、市）、市三级互联互通的大众健身信息服务平台；试点开展“大众健身运动码”，结合体育运动水平等级评定和赛事活动积分评定，构建个人“运动成就”系统等项工作^[23]。实际上，这些系统，以及各地政府和第三方体育健康服务机构自主建设的系统，不应该成为孤立的“烟囱式”系统，它们之间应该开放互联、数据共享、协同工作，共同构成一个大众健身智慧化空间，为人民群众提供更加全面、便捷和智能的服务，推动构建多平台互联互通的大众健身智慧化空间。

大众健身智慧化首先要解决好人民群众“去哪里健身”的问题。目前国家大众健身信息服务平台基本实现了公共体育场馆、大众健身器材、体育公园等公共资源的数据采集工作^[24]，截至2024年5月份共采集全国大陆地区30个省/直辖市/自治区的6522个公共体育场馆、

50.7975 万个大众健身公共场地、331.1618 万件/套大众健身公共器材/器械、2648 个体育公园的基础数据、地理信息（GIS）和体育锻炼人数流量信息等，为人民群众就近选择健身场所提供了方便，为管理部门进行基础资源统计和分析提供了依据。接下来，可以在地理位置信息基础上优化导航服务，并继续对接、采集社会体育健身场馆/场所的基础信息，实现大众健身基础设施元素全覆盖。

大众健身智慧化还要解决好人民群众“如何方便健身”的问题。建设在线群众体育赛事平台，可以实现群众体育赛事全过程管理中的部分功能，如在线报名、在线观看、在线参赛、信息发布等，建设全民健身公共服务平台，可以实现场馆/场地/器材的预约、有偿服务使用的在线下单、支付等功能，为人民群众参与体育活动提供了方便。接下来，可以考虑实现各类专业服务平台之间的服务对接和数据共享，推动数据的全量汇聚、全局分析；可以考虑增加公共服务平台的社交属性，实现线上邀约组团活动、社区体育活动召集、健身锻炼经验共享等功能，推动良好健身文化氛围的建设。

大众健身智慧化要解决好人民群众“如何科学健身”的问题。国家体育总局和各级体育管理部门都非常重视科学健身的宣传和辅导工作。目前，国家大众健身信息服务平台已经制作和发布了 500 余个体育运动指导视频^[24]，建设了社会体育指导员信息库，在引导人民群众科学健身方面发挥了积极作用；智能健身器材、腕表等智能体育装备以及第三方健身平台已经实现了健身运动过程中与运动量、人体机能等有关的部分指标数据的实时采集、分析和预警，为人民群众了解健身效果、规避运动风险提供了技术支撑；人民群众的主动健康观念日益增强，体质健康检测、健康查体、医疗就诊等各类信息已经比较丰富，相关数字化平台为各类个性化、专业化主动健康服务提供了基础。接下来，如何利用物联网、大数据、移动互联网、人工智能等技术实现各类智能体育装备、互联网健身平台、社会健身场所平台、健

身查体服务平台、诊疗信息平台之间的互联互通和数据汇聚、并在满足个人敏感信息保护的前提下实现个人运动和健康信息的全量智能分析、个性化运动建议和运动处方推荐，如何利用人工智能技术对人民群众的体育锻炼过程进行视频分析、动作识别、动作评价、智能辅导和安全预警，如何利用新一代信息技术为社会体育指导员提供在线工作平台、实现社会体育指导员对社区居民的线上面对面辅导、发挥社会体育指导员作用等等问题的解决，将对提升人民群众科学健身水平起到促进作用。

大众健身智慧化要解决好人民群众“如何快乐健身”的问题。应用虚拟现实、元宇宙、人工智能等技术提高体育健身活动的趣味性、娱乐性、智能性，是增强健身活动黏性的重要手段。未来，可以应用新一代信息技术开发更加富有现场感的沉浸式在线竞技比赛平台，提供多人同时在线、对抗性更强、品类更多的运动项目，创建体育锻炼虚拟空间，吸引更多的年轻人参与健身活动。

大众健身智慧化要解决好各平台互联互通的问题。在大众健身公共服务的接触层面，要为人民群众提供一站式服务，实现体育管理政务服务的一网通办，避免在不同区域、参与不同活动、查询不同信息时需要登录不同系统的问题，为此需要统筹规划服务门户，集成各个专业服务系统，实现一点接入、全网服务；在大众健身公共服务的服务层面，要为人民群众提供更加个性化、精准化、科学化的服务供给，为此要与各类智能体育装备、健身管理系统、体质检测平台、互联网运营平台、诊疗信息平台、健康查体平台等互联互通，构建以个体为中心的主动健康大数据，开展数据智能分析和深度挖掘，做好个人敏感信息安全保护；在大众健身公共服务的公共支撑层面，要实现各类传感设备、物联设备、采集设备、应用系统的即插即用，研究建设公共数据采集和处理平台，编制数据互联规范标准，为构建大众健身智慧空间奠定基础。

4.3.2 构建个性化运动处方管理系统，完善主动健康模式

运动处方是由运动处方技术培训合格人员，依据处方对象的基本健康信息、体力活动水平、医学检查与诊断、运动风险筛查、运动测试等结果，以规范的运动方式和规定的运动频率、强度、时间、周运动总量、进阶以及注意事项，形成局部和整体相结合、近期和远期目标相结合的个性化健康促进及疾病防治的主动运动指导方案^[27]。推广使用运动处方是推动体医融合、体卫融合、大众健身与全民健康深度融合的重要手段，而基于大数据、人工智能技术构建个性化运动处方管理系统，是促进运动处方推广应用的基础^[28]。运动处方的运用过程大体可以分为如下几个阶段。

运动前的健康评价阶段。根据目前世界上较多国家所采取的做法（如英国、美国、德国、澳大利亚等，各个国家因为具体情况不同，所采取的具体措施也有所不同），由医生、康复和健身机构从业者、其他健康领域专家和处方接受者自身中的任何一方提出转诊需求，由专业机构组织对处方接受者进行健康检查、分诊评估和风险分层，通常需要做的健康检查内容包括病史、血压、脉搏、关节等一般检查，必要时做心电图、胸透和化验检查等，主要的健康评估方法包括既往身体活动水平评价、身体活动准备问卷、心脑血管疾病危险因素评价和分级、基于危险分层的医学检查、运动测试和医学监督建议等^[28-29]。随着科学技术的进步，应用线上工具开展在线健康筛查成为趋势，例如澳大利亚运动专家们联合开发的运动前筛查系统（the Adult Pre-Exercise Screening System, APSS）能够帮助准备参加运动的人群在线完成运动前健康筛查，它根据接受者的患病状态和病情程度，将其分为高风险、中等风险和低风险 3 类，不同风险类型的接受者将被按照不同的策略开具运动处方^[29]。

运动处方安全性的临床运动测试阶段。运动心肺功能测试（cardiopulmonary exercise testing, CPET）是进行风险分层、量化心

肺功能、评估最大运动能力和运动中能量代谢的重要临床评估方法，也是国际上确定运动强度（exercise intensity, EI）的重要依据，其测量指标通常包括心率、血压、心电图、主观体力感觉、气体交换相关指标等，测试结果往往结合受试者的病史、运动史、日常生活方式、健康状况和运动需求等其他信息，共同用于确定 EI（主要有公式推算法和实验室测量法）、制定运动处方和指导临床决策^[29-31]。随着心脏康复（cardiac rehabilitation, CR）领域飞速发展，专家们提出了一系列针对心血管疾病患者运动风险监控的方法及其数字化解决方案，例如比利时 Hasselt 大学和欧洲多国心血管疾病康复专家共同研发了线上交互式培训决策支持系统 EXPERT，能够帮助临床医生和医疗保健专业人员完成数字化培训和制定心血管疾病运动处方^[29,32]。

运动处方制定、实施和调整阶段。制定运动处方应遵循个性化、特异性、渐进性超负荷和休息/恢复 4 个原则^[29]。近些年，学者基于循证医学证据提出了“循证运动处方”（evidence informed exercise prescriptions），是指在制定处方前，医生和运动科学专家与运动员、受试者或患者进行互动，结合其个人表现、健身或健康需求就运动目标达成一致，然后基于循证医学证据以及医生和运动科学专家的经验制定训练计划^[29,33]。运动处方包括运动项目、运动强度、运动持续时间、运动频率、注意事项等方面的内容^[28]，根据不同的个体情况和运动目标，运动处方的内容通常有所不同。受试者或患者在执行运动处方的过程中，通常对身体状况、运动情况进行记录和监控，及时总结运动处方执行情况并适时对运动处方进行动态调整。

我国自 2016 年开始研究和建设国家运动处方库，规划由运动处方内容系统、运动处方师培训认证系统和运动处方应用平台系统三个部分组成，覆盖开具、执行、跟踪、回访、调整、归档、查询等多个环节^[34]。将来可以考虑重点从两个方面着力，构建个性化运动处方管理系统：一是运用大数据技术，采集各阶段的体征数据、医学数据和

运动数据，对运动处方应用的全过程数据进行汇聚，记录和分析运动处方执行情况，为持续提升运动处方的开具和使用效果提供数据支撑。二是运用人工智能技术，持续提升运动处方开具的精准化水平：在运动处方制定阶段，综合运用健康检查数据、健康评估数据、临床运动测试数据、循证医学证据等信息，使用基于关联规则的推荐算法、基于神经网络的推荐算法、基于统计学习的推荐算法等模型，实现运动处方推荐的个性化；在运动处方实施阶段，监测处方对象的身体状况和运动能力，根据监测结果进行处方有效性评估并不断优化和调整运动处方，提升运动处方实施效果；在运动处方优化阶段，运用所沉淀的大量个体样本数据，应用大模型等人工智能技术，研究更加有效的智能分析方法和模型，不断提高运动处方的个性化推荐准确度，并持续优化运动处方库内容。

4.4 本章小结

在未来的发展中，体育大数据技术将进一步融入竞技体育、学校体育和大众健身领域，促进全方位的智能化升级。在竞技体育中，大数据驱动的精准化训练和智能化管理大幅提升了运动表现和运动员职业寿命。在学校体育中，通过整合物理环境、教学管理和体育训练等多维度数据，逐步构建“数字孪生”智慧体育校园平台，从而实现教学过程的可视化和个性化，大幅提高教学效率，推动现代化转型。同时，各级政府和地区的大众健身服务平台将实现互联互通，并与健身场馆管理、健康服务机构等信息平台进行数据共享。这种数据融合不仅支持智能健身装备的对接，还汇聚了丰富的个人健身数据，应用人工智能技术为大众提供定制化的智慧健身服务，构建以个体为中心的健身大数据平台。此外，物联网与大数据技术的综合运用将全面提升运动处方的个性化和精准化水平。通过采集与分析运动处方执行全过程数据，研究更加智能的分析方法和模型，这些技术创新将助力个体运动表现的提升，推动体育产业的全面发展。未来，体育大数据技

术的不断突破将为竞技体育、学校体育和大众健身带来更高效的解决方案，促进体育产业的智能化升级与全面发展。

第4章参考文献

- [1] Mayer-Schönberger V, Cukier K. Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think. Houghton Mifflin Harcourt, 2013. [书籍]
- [2] 收视屡创新高！总台奥运融媒报道彰显引领力、传播力、影响力. 央视网, 2021.
<https://1118.cctv.com/2021/08/05/ARTIVf5L3Hf6gCmh2t3sM3m5210805.shtml>. [网页]
- [3] 卡塔尔发布2022世界杯总结报告. 新华网, 2024.
<http://sports.news.cn/20240129/2c1541b9d80a4adf83d639f66b06f174/c.html>. [网页]
- [4] Rogalski B, Dawson B, Heasman J, Gabbett TJ. Training and game loads and injury risk in elite Australian footballers. Journal of science and medicine in sport, 2013, 16(6): 499-503. [期刊]
- [5] Foster C, Rodriguez-Marroyo JA, De Koning JJ. Monitoring training loads: the past, the present, and the future. International journal of sports physiology and performance, 2017, 12(Supplement 2): S2-2. [期刊]
- [6] Bompa TO, Buzzichelli C. Periodization: theory and methodology of training. Human kinetics, 2019. [书籍]
- [7] Jones CM, Griffiths PC, Mellalieu SD. Training Load and Fatigue Marker Associations with Injury and Illness: A Systematic Review of Longitudinal Studies. Sports medicine, 2017, 47, 943-974. [期刊]
- [8] 刘昊扬. 基于人工智能的运动教练系统分析与展望. 北京体育大

- 学学报, 2018, 41(4): 55-60. [期刊]
- [9] 钟亚平, 吴彰忠, 陈小平. 数据驱动精准训练: 理论内涵, 实现框架与推进路径. 体育科学, 2021, 41(12): 48-61. [期刊]
- [10] Lentz-Nielsen N, Madeleine P. Validation of football locomotion categories derived from inertial measurements. Sports Engineering, 2023, 26(1): 26. [期刊]
- [11] 郭建伟, 连迅. 射击运动员心率即时采集及智能化监控系统的研制. 武汉体育学院学报, 2014, 48(6): 96-100. [期刊]
- [12] Yan W, Jiang X, Liu P. A Review of Basketball Shooting Analysis Based on Artificial Intelligence. Ieee Access, 2023, 11: 87344 – 87365. [期刊]
- [13] Host K, Ivašić-Kos M. An overview of Human Action Recognition in sports based on Computer Vision. Heliyon, 2022, 8(6): e09633. [期刊]
- [14] 杨韵. 人工智能时代体育教学内涵特征, 发展困境与推进策略. 体育文化导刊, 2022, 9: 104-110. [期刊]
- [15] 段锐, 马廉祯, 王松涛. 高质量体育教师专业发展: 时代性, 问题域, 落脚点. Journal of Physical Education/Tiyu Xuekan, 2024, 31(2). [期刊]
- [16] 刘程林, 郝卫亚, 霍波. 运动生物力学发展现状及挑战. 力学进展, 2023, 53(1): 198-238. [期刊]
- [17] Tao F, Qi QL. Make more digital twins. Nature, 2019, 573(7 775):490-491.[期刊]
- [18] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用. 计算机集成制造系统, 2019, 25(1):1-18. [期刊].
- [19] 陶飞, 马昕, 戚庆林, 等. 数字孪生连接交互理论与关键技术. 计算机集成制造系统, 2023, 29(1):1-10.[期刊]

- [20] 丁盈, 朱军, 王晓征. 数字孪生系统设计与实践. 北京: 清华大学出版社, 2023. [书籍]
- [21] 吕智涵. 数字孪生—超脱现实, 构建未来智能图谱. 北京: 清华大学出版社, 2023. [书籍]
- [22] 姚小林, 王俊. 滑雪场馆数字孪生场景构建逻辑与推进策略. 首都体育学院学报, 2023, 35(2):166-172. [期刊]
- [23] 体育总局. “十四五”体育发展规划. 中华人民共和国中央人民政府网, 2021. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-10/26/content_5644891.htm. [网页]
- [24] 体育总局群体司. 全民健身信息服务平台建设指南. 国家体育总局官网, 2022 年. <https://www.sport.gov.cn/n315/n20001395/c24747297/content.html>. [网页]
- [25] 王学彬, 李刚. 上海市全民健身数字化转型实践经验与启示. 体育文化导刊, 2023(11):52-59. [期刊]
- [26] 郑芳, 徐伟康. 我国智能体育:兴起、发展与对策研究. 体育科学, 2019, 39(12):14-24. [期刊]
- [27] 《运动处方中国专家共识(2023)》专家组. 运动处方中国专家共识(2023). 中国运动医学杂志, 2023, 42(1):3-13. [期刊]
- [28] 卢朝霞, 李宁宁, 于飞. 互联网+体质健康管理服务模式的构建与探索. 北京: 九州出版社, 2022. [书籍]
- [29] 王帝之, 李省天, 李鑫铭, 等. 健康中国战略下运动处方的临床实践. 体育科学, 2023, 43(11):89-96, 封 3. [期刊]
- [30] 美国运动医学学会 (王正珍译). ACSM 运动测试与运动处方指南 (第十版). 北京: 北京体育大学出版社, 2019. [书籍]
- [31] D'Ascenzi F, Cavigli L, Pagliaro A, et al. Clinician approach to cardiopulmonary exercise testing for exercise pre-scription in patients at risk of and with cardiovascular disease. British Journal of

Sports Medicine, 2022, 56(20): 1180-1187. [期刊]

- [32] Hansen D, Beckers P, Neunhauserer D, et al. Standardised exercise prescription for patients with chronic coronary syndrome and/or heart failure : A consensus statement from the EX-PERT working group. Sports Medicine, 2023, 53(11): 2013-2037. [期刊]
- [33] Pelliccia A, Sharma S, Gati S, et al. 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. European Heart Journal, 2021, 42(1): 17-96. [期刊]
- [34] 祝莉,王正珍,朱为模. 健康中国视域中的运动处方库构建. 体育科学, 2020, 40(1):4-15. [期刊]

第 5 章 运动生理生化检测分析中的智能技术

智能技术在运动生理学中的应用正迅速改变运动员训练、表现分析和健康管理的方式。这些技术通过高精度数据监测和分析，为运动员提供个性化的训练方案，从而优化运动表现并减少受伤风险。穿戴式传感器和智能设备能够实时追踪心率和氧饱和度等生理参数^[1]，而机器学习算法的应用则使得从这些数据中获取更全面和深层次的生物信息成为可能。此外，视频分析和动作捕捉技术为技术动作的评估和改进提供了新的视角。智能系统在营养和恢复策略方面的应用，进一步扩展了智能技术的价值，它们能够根据运动员的生理数据和运动负荷提供定制化建议。

随着人工智能技术的不断更新迭代，智能技术将在运动员的训练、健康管理、运动表现提升等方面发挥越来越关键的作用，为运动生理学领域带来革命性的变化。智能技术在运动生理学中的应用已经引起了广泛的关注，并在许多方面展现出了巨大的潜力。这些技术包括可穿戴设备^[2]、生物反馈系统^[3]、虚拟现实（VR）^[4]和增强现实（AR）^[5]等。它们不仅能够提供实时的生理数据，还能够通过模拟和分析这些数据来优化运动训练和提高运动表现。智能手表等健身追踪器等可穿戴设备可以实时监测心率、血氧饱和度等生理参数，帮助运动者更好地理解自己的身体状态。这些设备收集的数据也可以用于个性化训练计划的制定，以及运动后的恢复策略。生物反馈系统通过监测生理信号如心率、呼吸频率、肌肉活动等，将这些信息反馈给用户，帮助他们学习如何控制这些生理过程。这种技术在运动训练中具有重要作用，因为它可以帮助运动者提高专注力和自我调节能力，从而提高运动表现。虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术为运动生理学提供了全新的研究工具。通过创建沉浸式的环境，研究者可以模拟不同的运动场景，研究运动对生理和心理的影响。例如，VR 可以通过模拟

高海拔环境研究低氧对运动表现的影响。智能技术在运动生理学中的应用还包括运动表现分析、运动伤害预防和运动康复等领域。例如，通过分析运动视频、智能算法可以评估运动技巧和效率，帮助教练发现专项技术问题并提供改进建议^[6]。此外，智能设备可以监测运动过程中的动作质量帮助预防运动伤害。

5.1 运动生理信号的智能传感与分析

5.1.1 开展运动生物电位信号监测，提高运动员专注力和运动表现

肌肉电信号（EMG）。EMG 通过体表附着电极监测肌肉系统神经细胞产生的电生理信号，用于动作分析、肌肉协调性和时序性的评估。传统的肌电信号采集方法依赖于胶带或绷带固定的刚性电极，但这些方法存在设备繁琐、贴合性差和抗疲劳性差等问题。为了改进这一状况，通过新型导电材料的开发和绿色印刷技术的应用，柔性电极的集成与贴附问题得到了有效解决，促进了灵敏、便捷、可穿戴和可附着式传感设备的发展。新加坡国立大学的研究团队开发了山梨醇修饰的聚 PEDOT:PSS 与水性聚氨酯复合材料制备的柔性干电极薄膜，解决了湿润条件下电极与皮肤贴合性差的问题^[7]。有研究团队利用石墨烯、银和聚酰亚胺（PI）等纳米材料，采用气凝胶打印方法制备可拉伸的传感器，实现了肌电信号的高灵敏度监测^[8]。

心电信号（ECG）。ECG 监测心脏的电活动，广泛应用于运动员的心血管健康评估。传统的 Ag/AgCl 凝胶电极在运动过程中存在皮肤过敏和接触不良等问题，导致信号质量下降。为了改善电极与皮肤的长期接触性能，可以开发以丝素蛋白和聚吡咯制备的复合电极。丝素蛋白在湿度增加时杨氏模量下降，实现与皮肤实现良好的贴合，从而保证了连续两小时稳定监测心电信号。也可以通过可拉伸的 Au/PDMS 复合膜和含多巴胺的离子导电聚合物组成的电极，例如适用于水下运动的防水电极结构，实现在水下环境中对心电信号的高灵

敏度和稳定监测。这些防水电极在游泳、跳水和潜水等水下运动项目中展现了优异的性能，与传统商业凝胶电极相比，能够提供更灵敏、稳定的心电信号监测数据，为水下运动员的心脏健康管理提供了可靠的技术支持。

脑电信号（EEG）。EEG 主要通过头皮表面的多位点电极采集，记录大脑神经元的电活动。由于脑电信号幅度小且易受环境干扰，采集和分析的精准度一直是该领域研究面临的挑战，基于导电软微柱聚合物电极的高质量脑电信号采集方法可以改善收集脑电信号的质量。该电极设计模仿蚱蜢脚结构，通过增强电极与皮肤表面的范德华作用力，即使在浓密毛发的情况下也能与头皮完美贴合，来监测脑电信号的 α 波活性。延世大学的研究团队采用 3D 打印技术和多孔导电网络结构，利用糖粒模板和 PDMS 制备多孔导电支架，并涂覆修饰性单壁碳纳米管，赋予结构导电性^[9]，这种传感器可以监测不同睡眠阶段的脑电信号，为运动员的睡眠质量评估和体能恢复计划提供科学依据。通过这些新型电极和传感技术的应用，运动员在比赛和训练中的认知状态得到了有效评估。2006 年世界杯冠军意大利足球队使用脑电神经信号反馈训练，显著提高了赛前专注力和比赛表现。

细胞行为检测。实时监测和分析细胞行为数据是现代生物学研究的关键环节，它使科学家能够观察和理解细胞在自然状态下的动态过程。这项技术的发展得益于先进的成像技术和计算方法的结合，使得研究人员能够在微观尺度上捕捉细胞的行为模式，如生长、运动、分裂和死亡等。如荧光显微镜和共聚焦激光扫描显微镜，提供了对细胞行为的实时视觉信息。而计算机辅助的图像分析软件则能够处理和分析这些海量的数据，提取有用的生物学信息。实时监测和分析细胞行为数据对于基础生物学研究和临床应用都具有重要意义，它有助于揭示细胞功能的机制，以及疾病发生和发展的过程。智能技术在细胞行为分析中的应用已经展现出巨大的潜力和价值。人工智能、机器学习

和深度学习算法等智能技术的引入，极大地提高了细胞行为分析的准确性、效率和可重复性。这些技术不仅能够处理和分析大量的细胞数据，还能够发现数据中隐藏的模式和关联，为我们理解细胞行为的复杂性和疾病的机制提供了新的视角。机器学习和深度学习技术的发展为细胞行为模式识别和细胞图像分析提供了强大的工具，所以智能技术在运动生理学和细胞生物学领域的应用前景广阔。通过结合这些技术，研究者能够更深入地探索运动对细胞行为的调控机制，为运动生理学和细胞生物学的研究开辟新的道路。

5.1.2 研发生命体征的光电感知与智能分析，实现运动中生理信号的实时监测

心率是最为重要的人体体征信息之一，其监测主要通过两种方法：基于 ECG 黄金标准法和基于光电容积描记法（PPG）的方法。PPG 是利用非侵入式光学技术，通过特定波长的光（如 500~600nm 的黄绿光）透过皮肤组织，监测血容量的变化来实现心率的监测。静脉对光的吸收是恒定的，而动脉中的血液脉冲流动会导致光吸收的变化，从而产生交流信号，反映心脏活动引起的周期性收缩和舒张。然而，传统 PPG 传感器体积较大、材质坚硬，不适合长期佩戴，并且在剧烈运动或强烈环境光干扰下，信号准确性会受到影响。为了克服这些问题，人们开发了基于有机光电晶体管和无机 LED 掺杂的超薄柔性 PPG 传感器，可以在运动过程中减少伪影，提高信号采集的准确性^[10]。此外，还有一类可安装在指甲片上的柔性平台的光电传感器，可以心率等生理信号的实时监测，进一步提升了 PPG 传感器在运动中的应用可靠性。

心率变异性（Heart Rate Variability, HRV）是指逐次心跳周期差异的变化情况，是能够反映神经系统健康的重要标志。HRV 提供了运动员训练状态的重要临床信息，可以帮助调整训练强度以优化运动员的心肺适应能力。传统 HRV 监测方法依赖于 ECG 信号采集，但其

过程复杂且繁琐。随着光学传感器的发展，PPG 技术的应用使 HRV 数据提取更加便捷，通过监测脉冲变异性(Pulse Rate Variability, PRV) 实现 HRV 的监测。有研究表明，基于 PPG 的 HRV 数据与 ECG 方法具有较高的一致性，特别是在静止状态下^[11]。然而，在运动过程中，运动伪影会影响信号的准确性。为解决这一问题，Motin MA 等人提出了一种基于维纳滤波算法，在高强度运动下提取 PPG 信号，以准确估算心率，错误率仅为 1.78%^[12]。这种方法的提出，有望通过深度学习技术进一步提高高强度运动条件下 HRV 监测的准确性。

血氧饱和度是血液中氧合血红蛋白占所有血红蛋白的比例，其反映了血液中氧气的浓度。PPG 利用氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白对不同波长光的吸收差异，通过 600-700nm 红光和 800-1000nm 近红外光照射皮肤，计算 PPG 信号的 DC 和 AC 分量比值来测定血氧饱和度。为了实现便携、可穿戴的血氧监测。有学者研制了无线有源光电子系统，制备出超薄、超轻的可穿戴设备，解决了血氧饱和度监测的能量供给问题^[13]。尽管基于 PPG 的传感器在便携性和可穿戴性方面有显著优势，但运动伪影仍然是一个挑战。事实上，在静止状态下，PPG 测量数据与 ECG 方法具有较好的一致性，但在运动过程中一致性有所下降。未来，通过大数据和人工智能算法处理，有望进一步减少运动伪影，提高基于 PPG 传感器的生理信号监测的准确性。此外，基于 PPG 的传感器还可以用于乳酸阈值的实时监测，与传统血样分析的相关性达到 $r > 0.96$ ，误差在 4% 以内。

5.1.3 发展生物体液的电化学传感与智能分析方法，丰富可穿戴诊断和治疗应用

运动产生的生物化学指标直接反映了机体内在分子变化，以及机体的代谢功能及运动反应。传统的运动生物化学监测主要集中在乳酸、葡萄糖、激素水平及能量代谢酶活性等指标，这些指标通常通过血液采集，属于侵入式方法。这种方法的局限在于无法连续监测多项

指标，也不能动态反映运动过程中的生化变化。随着柔性器件制造技术的进步，电化学传感器已向微型化、可穿戴化、高性能化发展。各国科研人员开发出各种电化学生物传感器，可以实现人体体液中的代谢物、电解质、离子等成分的检测。

唾液因其无创性和持续供应的特性，成为了量化与运动表现相关生物标志物的新选择。在唾液中检测到的生物标志物，如 α -淀粉酶、葡萄糖、乳酸、磷酸盐和尿酸（UA），已证实与血液中的相关标志物具有良好的关联性。利用柔性聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）基材，并采用丝网印刷技术可以制造类似的护齿生物传感器。一种是用于测量乳酸水平的护齿生物传感器，包括Ag/AgCl电极、普鲁士蓝-石墨油墨工作电极和聚邻苯二胺电聚合包埋的乳酸盐氧化酶（Lox）。另一种是针对尿酸（UA）的传感器，包括Ag/AgCl参考电极、普鲁士蓝石墨墨水和经尿酸酶改性的工作电极。这些传感器在不同条件下均表现出良好的功效，包括未稀释的人类唾液和高尿酸血症患者的唾液样本。除此之外，一种基于MEMS技术的唾液葡萄糖传感器，可以实现无创测量，通过小型塑料薄膜封装以保护其不受唾液影响。

汗液中富含小分子物质，如 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 、乳酸、钙、葡萄糖、氨、乙醇、尿素、皮质醇以及各种神经肽和细胞因子，是连续和无创测量生物标志物的理想来源。有学者开发了一种用于在体育锻炼和休息时连续监测汗液中多种痕量代谢物和营养物质的可穿戴电化学生物传感器^[14]，其检测物包括所有9种必需氨基酸以及维生素、代谢物和人类汗液中常见的脂类。该生物传感器由可以在原位反复再生的石墨烯电极、与代谢物特异性结合的分子印迹聚合物和氧化还原活性纳米颗粒组成，并由用于汗液诱导的离子导入模块，微流体汗液取样模块，信号处理和校准模块以及无线通信的模块集成。在动态生理监测和营养监测中，生物传感器能够实时监测体育锻炼期间氨基酸的摄入量及其水平以及评估代谢症候群的风险，代谢产物的监测则可以及早

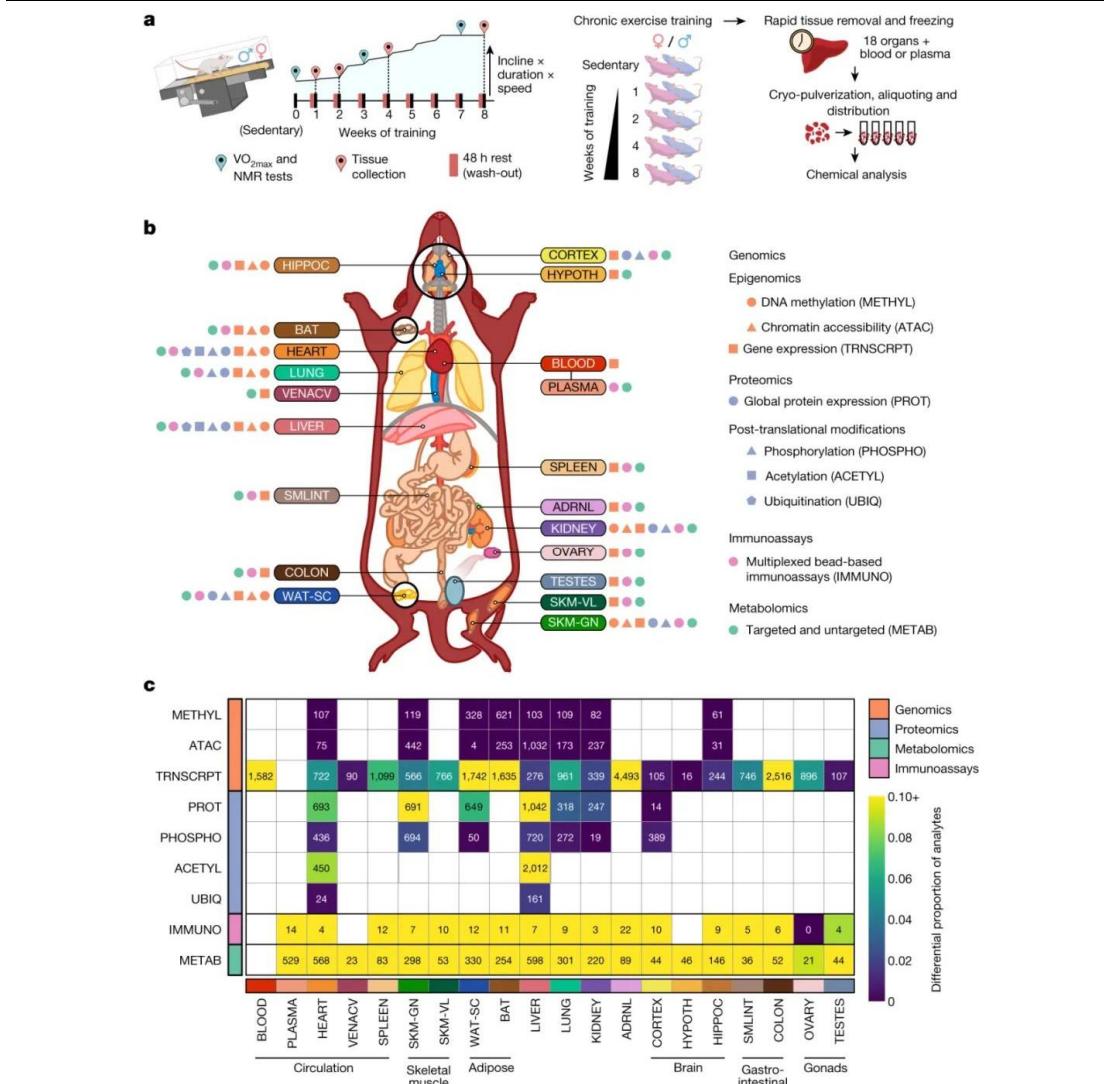
地发现异常的健康状况，有利于精确营养学和精准医学的应用。此外，近年来多模态的智能传感技术也开始出现。利用耳朵的外分泌汗腺开发的一种电化学和电生理传感器的入耳式集成阵列，可通过脑电图和皮肤电活动同时监测乳酸浓度和大脑状态。在急性运动的志愿者中，该装置检测到汗液中乳酸水平升高，同时调节所有脑电图频段的大脑活动。通过拒绝计时电流驱动电位的瞬态伪影，实现了两种模式的连续同步感测。运动后传感器显示出显著变化，这种多模态的智能传感技术扩展了以往的入耳式系统，展示了集成的脑状态和动态化学监测。通过低功耗、低噪声模拟前端信号放大、滤波和采集集成电路设计，进一步推进了传感器与电子设备的集成，有望用于丰富的可穿戴诊断和治疗应用^[15]。

5.2 运动生化分子的高通量检测与筛选

5.2.1 应用运动生化分子的高通量检测技术，研究运动对疾病的干预作用

近年一些学者利用最新的单细胞技术和计算生物学手段，在分子、细胞类型特异性和跨组织水平上揭示机体响应运动和肥胖的过程，在此基础上构建了在代谢组织中肥胖及运动的单细胞变化图谱^[16]。目前有越来越多的研究从组学的角度来阐述运动对机体、疾病的干预作用，通过高通量的技术对运动适应或急性运动诱发的蛋白水平变化进行靶点筛选。例如，对大鼠血浆蛋白质组的研究发现，长期中等强度的跑台运动会使大鼠血浆的 101 个蛋白质发生显著性变化，并确定其中部分蛋白涉及神经营养因子信号通路，发现了蛋白相互作用的网络涉及细胞存活和凋亡、轴突发育以及突触组成和可塑性，这为长期中等强度运动对神经系统发育筛选了外周靶点。同样地，三周的自主跑轮运动也会对海马背侧和腹侧进行动态调控，例如利用无标记质谱法检测自主跑轮运动后的小鼠海马发现，代谢酶和细胞骨架相关的蛋白表达异常，提示运动后的蛋白组适应和突触可塑性相关，且存

在海马的腹背侧差异。运动对机体蛋白组的影响也具有时间差异性，在对小鼠进行的四周跑步干预后，对小鼠的血浆进行蛋白组学检测发现，趋化因子淋巴因子（chemokine lymphotactin 1，XCL）水平显著升高，对该分子的后续研究发现其具有神经增殖和分化功能。该研究通过转录组、蛋白组、代谢组、脂质组以及免疫组的检测，发现急性运动诱发的生物过程变化。尽管此项研究仅是检测小样本健康人群的血浆分子变化，但同样发现时间序列水平上，急性运动同样也会造成多个生物过程的因子反应或调节途径改变。最近学者们利用转录组、蛋白质组、代谢组、脂质组、磷酸化蛋白质组、乙酰蛋白质组、泛素蛋白质组、表观基因组和免疫组的多组学技术，深刻解析了耐力运动训练后大鼠体内器官的分子改变（图 5-1）^[17]。这一研究思路为运动医学基础研究和临床转换开拓了新的思路。

图 5-1 多组学研究设计和数据集^[17]

5.2.2 应用运动因子和健康效益标记物的筛选技术，开展运动的系统性健康效益研究

运动的系统性健康效益在近年运动生理学和运动生物化学研究中备受关注，而运动因子（exerkine）作为急性或长期运动时释放的信号元件，通过内分泌、旁分泌以及自分泌途径发挥信号分子的作用，介导了运动的多器官串联并且产生系统性的健康效益。一直以来，人体器官间的对话机制是运动科学领域的研究热点，这种对话机制的桥梁就是运动因子的产生与信号级联反应。运动系统性特征提示许多器官、细胞和组织都可能释放运动因子，这些因子包括肌肉因子

(myokines)、心脏代谢因子(cardiokines)、肝细胞因子(hepatokines)、脂肪因子细胞因子(baptokines)和神经元细胞因子(neurokines)，这些因子的功能及作用网络塑造了运动对心血管系统、代谢系统、免疫系统及神经系统的多重效益。例如，运动可以增加与肌肉合成相关的IGF1和VEGF基因表达，同时减少肌肉分解相关基因的表达。此外，运动还能激活多种信号通路，如AMPK和mTOR途径，这些途径在调节能量代谢和蛋白质合成中起着关键作用^[18]。而运动是一种有效的生理刺激，能够显著影响基因表达，这些基因涉及多种生物学过程，包括但不限于代谢途径、肌肉适应性、炎症反应和抗氧化防御。

由于传统的线性研究范式越来越难以满足对运动因子的筛选，同时运动过程的复杂性变化对检测手段提出更高要求，需要类高通量的技术来阐述个体生命运动中的生理生化变化。因此，各类组学测序技术被广泛应用于运动生理学、运动生物化学的研究中，其中包括转录组学、蛋白质组学、代谢组学、RNA测序、单细胞测序、甲基化测序等，目前由组学测序技术筛选出的运动因子多达三十余种。此外，运动过程中代谢产物的丰度和转移能够在短时间内迅速变化，进而启动调节机制影响机体的生理适应性。例如有学者利用转录组学的技术发现，锻炼时骨骼肌释放的琥珀酸是一种pH敏感型的代谢信号，其质子化的单羧酸形式经MCT1转运蛋白的运输而分泌出细胞，随后通过SUCNR1受体调节了肌肉内的旁分泌途径，最终影响了锻炼后的肌肉适应性重塑^[19]。

5.3 运动生理生化数据的智能化分析

5.3.1 构建运动生理生化数据的智能化分析技术，帮助识别关键基因、蛋白质和代谢物

人工智能技术在检测人体生化指标方面具有显著的潜力，尤其是在运动生物化学研究中。机器学习和深度学习能够处理高通量生物数据，如质谱和核磁共振波谱(NMR)产生的复杂数据，可以通过支

持向量机（SVM）、随机森林（RF）和深度神经网络（DNN）等算法提取有价值的信息。卷积神经网络（CNN）在分析显微镜图像数据时，可以自动识别和量化细胞或分子的特征，提升分析效率和准确性。自然语言处理技术可以从大量文献和数据中提取有用信息，自动化文献综述、识别生物标志物和预测模型构建，帮助研究人员识别运动相关的关键基因、蛋白质和代谢物。计算机视觉在分析运动视频数据方面具有优势，通过卷积神经网络（CNN）和姿态估计算法，可以提取运动姿态和运动轨迹等信息，帮助优化运动员动作。强化学习技术通过模拟训练环境，利用反馈机制优化决策，调整训练方案，找到最适合的训练强度和方式，在个性化运动训练和康复治疗中具有重要应用。

然而，人工智能技术在上述领域应用也会有很大挑战。比如数据质量和数量是限制 AI 模型性能的重要因素，由于生物样本数据具有高度的异质性和变异性，需要大量高质量的数据来训练和验证 AI 模型。此外，隐私和伦理问题也是需要考虑的重要因素，随着 AI 在生物医学领域的广泛应用，如何在保护个人隐私的同时充分利用数据也是亟待解决的问题。尽管如此，人工智能技术在运动生物化学研究中的应用前景仍然十分广阔。通过个性化运动训练方案、疾病预测和管理、运动恢复监测等实例，AI 技术在提高生化指标检测准确性和灵敏度方面具有巨大潜力。例如，深度学习中的长短期记忆网络（LSTM）模型可以通过分析血糖和胰岛素等数据，预测个体慢性病风险，帮助制定个性化的预防和管理方案^[20]；计算机视觉技术结合卷积神经网络（CNN）分析运动员的恢复状态，监测炎症标志物和代谢物水平（如尿素和肌酸激酶），预测恢复阶段状态，帮助调整训练强度和恢复时间^[21]。此外，监测血液中的肝酶（如丙氨酸氨基转移酶 ALT 和天冬氨酸氨基转移酶 AST）水平，可以评估运动对肝脏的影响。总之，随着技术的不断进步，人工智能将在运动生物化学和健康

管理领域发挥越来越重要的作用。

流式细胞术是血液学和免疫学疾病的重要诊断工具，但手动分析耗时且数据不准确。有学者使用 2021 年以来的 379 例临床病例开发并验证了人工智能辅助流式细胞术工作流程，采用 3 管、10 色流式检测板和 21 种针对原发性免疫缺陷疾病和相关免疫性疾病抗体，完全自动化的 AI 软件可以将每个案例的分析时间缩短至 5 分钟以下。通过软件还可以与血液病理学家互动，在必要时进行手动门控调整。软件的功能使用专有的多维密度-表型耦合算法，AI 模型可以准确分类和计数 T、B 和 NK 细胞，以及重要的免疫细胞亚群，包括 CD4+ 辅助 T 细胞、CD8+ 细胞毒性 T 细胞、CD3+/CD4-/CD8- 双-阴性 T 细胞，以及类别转换或非转换的 B 细胞。与以血液病理学家确定的淋巴细胞亚群百分比作为金标准的手动分析相比，AI 模型在淋巴细胞亚群之间表现出很强的相关性。这项研究强调了人工智能辅助流式细胞术在临床环境中诊断免疫性疾病准确性和效率，在简洁的时间范围内提供了一种变革性方法^[22]。

5.3.2 深化数据挖掘思路，解释生理或病理变化的深层次分子机理

在系统生物学研究背景下的运动生理学和运动生物化学的研究更加强调运动的整体性和多元性，而通过比较分子表达差异揭示疾病发生的分子机制和运动干预的效应机制逐渐成为一种常用策略。无论是研究技术带来的高通量数据集（运动组学的分子图谱变化、筛选出的差异分子、长时间记录的生理信号等），还是研究方法多元化造成的指标多样性（超声成像、脑血流指数、核磁共振、脑的网络连接等），这些多维度、高通量的数字或符号代码在运动科学的研究中的作用日趋重要。从大量出现的运动组学研究到更深层的单细胞测序研究，再到大量人群样本为基础的全基因组关联分析和健康大数据^[23]，这对我们研究人员在数据的梳理、整合和分析中提出了更高的要求。

此外，运动科学的基础研究也越来越注重生物信息学分析方法，利用现有的生物数据库和样本信息来进行“干实验”领域的研究。有研究从 GEO 基因表达综合数据库收集代谢综合征运动人群的基因表达谱芯片及数据并下载患者的临床信息，然后采用各类统计方法分析探讨代谢综合征运动干预人群的 PGC-1 α 表达变化及发病风险，利用基因集富集软件 GSEA 分析受 PGC-1 α 调控的富集基因与 PGC-1 α 表达差异时富集的功能基因集，以及运动收益差异时富集的功能基因集与差异基因^[24]。因此，未来可能需要更多地结合计算机科学的方法来应对庞大的数据集。

数据挖掘是通过大量数据集的产生，再进一步挖掘其深层机制，或将这些数据转换成可利用和可分析的信息。这类高通量数据是基于高特异性、高灵敏度质谱仪或细胞分析仪，对特定生物样本中的全部分子进行精确定性和定量的过程。为了解释生理或病理变化，揭示深层次分子机理，需要通过数据挖掘从大规模的数据中快速有效地挑选关键蛋白或通路。因此数据挖掘是大数据处理的关键。

数据挖掘研究思路一般遵循从整体到局部的原则，从检测出的差异分子利用 FC 值（fold change）和检验的 P 值进行整体差异分析。得到了差异分子后可以基于开放数据库进行富集分析，常见的包括 GO 功能数据库、KEGG 通路富集数据库、加权基因共表达网络分析（Weighted correlation network analysis, WGCNA），这一过程可以锁定基本的生物过程或通路，对这些数据产生整体的认识并初步筛选核心分子及互作网络。为确定锁定的目标分子的真实性和可靠性，可在细胞水平、动物水平进行表达水平验证，从而深入探讨挖掘出的分子在生物学上的意义。或者在人群研究中，重新募集队列验证发现队列筛选到的目标分子是否准确可靠，通过细胞或模型进行遗传敲除观察其表型改变。利用这种典型的组学数据挖掘范式发现运动预防大脑衰老的关键酶，从运动引起的差异表达蛋白入手，通过构建关键蛋白

Gpld1 的过表达模型验证了其在改善神经元功能中的作用，再通过蛋白组检测 Gpld1 过表达引起的蛋白表达谱改变探究其作用机制，最后通过酶活突变体验证 Gpld1 通过酶活发挥对神经元功能的改善作用。以上这些研究工作为运动科学的研究中数据挖掘问题提供了一个思路，因此，聚焦于某个“不起眼”的分子或许能阐明一项重要问题^[17]。而人工智能参与生化传感中数据收集、数据处理（包括对信息格式的转换、数据模型建立、数据分类和分析以及检测结果决策）及应用的全过程^[25]。其中，提高分析的效率、准确率和可靠性以及提高检测的特异性是人工智能在生化传感中应用的关键（图 5-2）。

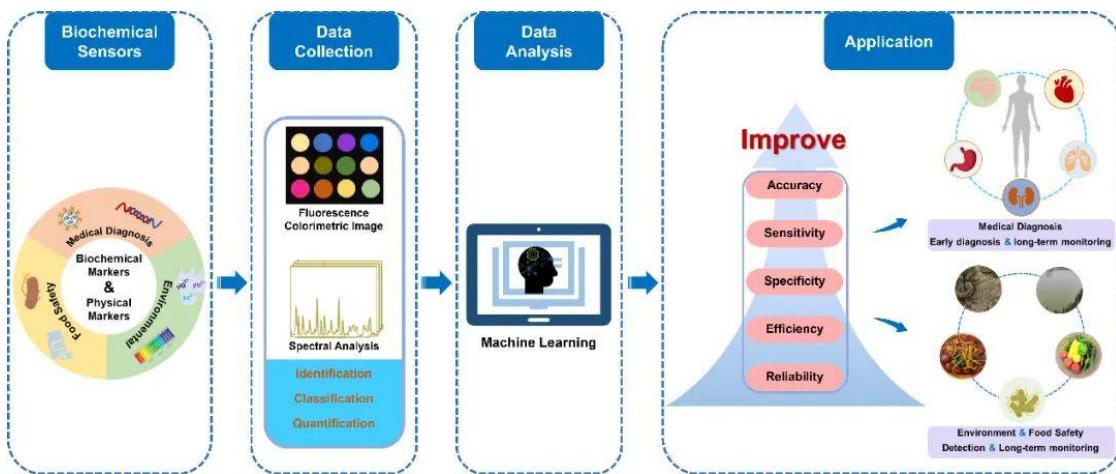


图 5-2 人工智能在数据挖掘及应用中的作用^[25]

5.4 运动科学、生物信息学和人工智能的交叉应用

运动科学、生物信息学和人工智能的交叉应用正在革新个性化运动处方和精准医疗的领域。通过结合运动科学的专业知识、生物信息学的大数据分析能力以及人工智能的预测和模式识别算法，研究者能够为每个人量身定制更加有效的运动计划，同时提高疾病治疗和管理的精确度。例如，生物信息学可以帮助分析个人的基因组数据，识别影响运动反应和代谢的遗传变异。人工智能算法可以处理这些数据，结合个人的生理指标、生活习惯和环境因素，预测不同运动类型和强

度对健康的影响。智能系统还能根据实时监测数据调整运动处方，确保运动计划的安全性和有效性^[26-27]。

未来的运动科学、生物信息学和人工智能的交叉应用发展方向主要有以下几点：（1）算法的创新与优化：未来的研究将继续推动智能算法的创新，以适应运动分子生物学数据的特点，提高分析的准确性和效率。（2）多模态数据融合：结合不同类型的数据（如基因组、转录组、蛋白质组数据）进行综合分析，将有助于全面理解运动的分子机制。（3）人工智能与精准医疗：智能技术将与精准医疗紧密结合，为个体化的运动处方和疾病管理提供科学依据。（4）技术普及与教育：智能技术的普及将有助于提高运动分子生物学知识的教育和公众健康意识。（5）伦理和隐私问题：随着智能技术在运动分子生物学中的应用，需要关注数据的伦理和隐私问题，确保研究的合规性。随着人工智能和机器学习技术的不断进步，预计会有更多的算法被开发出来，以处理和解释复杂的生物数据。智能穿戴设备和生物传感器的技术革新将提供更高质量的实时生理数据，使研究者能够更精确地监测运动对人体的影响。同时，随着计算能力的增强，未来的研究将能够处理更大的数据集，进行更深入的生物信息学分析。

5.5 本章小结

人工智能技术在运动的生理传感领域的广泛应用已经渗透到生物电位信号、生命体征和生物体液层面，同时运动生化监测技术在人工智能技术的推动下也在疾病干预和健康效益等方面的研究取得重要进展。结合生理传感和生化监测的数据分析技术，不仅可以通过应用人工智能辅助流式细胞术等技术，助力基因蛋白等关键物质的识别，亦可应用高通量研究数据集和生物信息学分析方法不断进行数据深度挖掘，打通数据处理的关卡。随着人工智能和运动生理生化检测技术的不断深度融合与进步，未来在运动生理生化检测分析领域将呈现出更精确的算法、更个性化的运动医疗、更庞大的数据集和更高质

量的实时数据监测等良好发展趋势，该领域应用的人工智能技术也在与其他方向交叉融合中展现出巨大的潜力，并在运动训练、健康管理、运动表现提升、运动伤害预防和康复等方面发挥越来越关键的作用。

第5章参考文献

- [1] 苏炳添,李健良,徐慧华,等.科学训练辅助:柔性可穿戴传感器运动监测应用.中国科学:信息科学, 2022, 52(01):54-74. [期刊]
- [2] Srikrishnarka P, Haapasalo J, Hinestroza JP, et al. Wearable sensors for physiological condition and activity monitoring. Small Science. 2024, 4(7):2300358. [期刊]
- [3] Wang M, Yang Y, Min J, et al. A wearable electrochemical biosensor for the monitoring of metabolites and nutrients. Nature Biomedical Engineering, 2022, 6:1225-1235. [期刊]
- [4] Yin Q, Hou T, Mao X, et al. Risk decision psychological training assessment method based on virtual reality (VR) technology and physiological index, involves extracting and outputting corresponding data, and accurately obtaining psychological and physiological changes of user in experimental process according to data. CN117612722-A. [专利]
- [5] Liston DB, Farmer D. Method for increasing sensitivity of AR/VR display system for collecting eye-tracking data for detecting physiological conditions, involves accessing eye-tracking information associated with control population and experimental population. US2021240261-A1.[专利]
- [6] 中国体育科学学会. 体育科学学科发展研究报告(2020-2023). 北京:人民邮电出版社, 2023. 394-411. [书籍]
- [7] Yemata TA. Enhanced thermoelectric properties and environmental

- stability of PEDOT: PSS conducting polymers by various chemical post-treatments. Ph.D, National University of Singapore, 2019.[学位论文]
- [8] Sun W, Liu Q, Luo Q, et al. Flexible lightweight graphene-based Electrodes and angle sensor for human motion detection. In: Liu, H, et al. eds. Intelligent Robotics and Applications. Springer, 2022. 150-161. [会议论文集]
- [9] Wang Z. A Multichannel EEG Acquisition System with Novel Ag NWs/PDMS Flexible Dry Electrodes. In: 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Honolulu, HI, USA: 2018. 1299-1302.[会议论文集]
- [10] Zhang J, Xu H, Luo N, et al. Epidermal Bioelectronics Toward Oximetry and Health Care Applications. In: Zhang Y T, Carvalho P, Magjarevic R. eds. International Conference on Biomedical and Health Informatics. 2015.[会议论文集]
- [11] Plews DJ, Laursen PB, Stanley J, et al. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. Sports medicine. 2013. 773-781.[期刊]
- [12] Motin MA, Karmakar CK, Palaniswami M. PPG Derived Heart Rate Estimation During Intensive Physical Exercise, in IEEE Access, 2019:56062-56069. [期刊]
- [13] Wu J, Li M, Chen WQ, et al. A strain-isolation design for stretchable electronics. Acta Mechanica Sinica, 2010, 26:881-888.[期刊]
- [14] Xu Y, De la Paz E, Paul A, et al. In-ear integrated sensor array for the continuous monitoring of brain activity and of lactate in sweat.

- Nature Biomedical Engineering, 2023:1307-1320. [期刊]
- [15] Contrepois K, Wu S, Moneghetti KJ, et al. Molecular choreography of acute exercise. Cell, 2020:1112-1130. [期刊]
- [16] Yang J, Vamvini M, Nigro P, et al. Single-cell dissection of the obesity-exercise axis in adipose-muscle tissues implies a critical role for mesenchymal stem cells. Cell Metabolism, 2022:1578-1593. [期刊]
- [17] MoTrPAC Study Group. Temporal dynamics of the multi-omic response to endurance exercise training. Nature, 2024, 629:174-183. [期刊]
- [18] Barzegaran M, Fallahmohammadi Z, Akbari A. Effect of six weeks of treadmill running on JAK1/STAT3 pathway gene expression in the basal ganglia of type-1 diabetic rats. Journal of Sport Biosciences. 2023, 15(2):31-43. [期刊]
- [19] Reddy A, Bozi L, Yaghi OK, et al. PH-Gated succinate secretion regulates muscle remodeling in response to exercise. Cell, 2020, 183(1):62-75. [期刊]
- [20] 刘勇.基于序列的同义与无义单核苷酸变异致病性预测模型.苏州大学. 2023.[学位论文]
- [21] Kumar PS, Preethi P, Pradeep R, et al. Method for developing deep learning model-based scan application programming interface with long short-term memory framework to automatically predict chronic obstructive pulmonary disease involves using scan images. Interface and Processor, IN202141059096-A.[专利]
- [22] Lu Z, Morita M, Yeager TS, et al. Validation of artificial intelligence (AI)-Assisted flow cytometry analysis for immunological disorders. Diagnostics, 2024, 14(4):420. [期刊]

- [23] Wang Z, Emmerich A, Pillon NJ, et al. Genome-wide association analyses of physical activity and sedentary behavior provide insights into underlying mechanisms and roles in disease prevention. *Nature Genetics*, 2022, 54(9): 1332-1344. [期刊]
- [24] Little JP, Safdar A, Cermak N, et al. Acute endurance exercise increases the nuclear abundance of PGC-1 α in trained human skeletal muscle. *American journal of physiology-regulatory, integrative and comparative physiology*, 2010, 298(4): R912-R917. [期刊]
- [25] Li HQ, Xu H, Li YL, et al. Application of artificial intelligence (AI) - enhanced biochemical sensing in molecular diagnosis and imaging analysis: Advancing and challenges. *Trends In Analytical Chemistry*, 2024, 174:117700. [期刊]
- [26] Molavian R, Fatahi A, Abbasi H, et al. Artificial intelligence approach in biomechanics of gait and sport: a systematic literature review. *Journal of Biomedical Physics Engineering*, 2023, 13(5): 383. [期刊]
- [27] 宋凯. 深度学习方法在运动健康领域的应用. *Advances in Applied Mathematics*, 2023, 12: 3327. [期刊]

第6章 运动心理分析中的人工智能技术

随着人工智能技术的发展，通过高效的数据采集、模式识别和个性化建议，显著提升了运动员的表现和心理健康水平，包括运动神经行为分析、运动心理技术的应用以及在运动心理训练中的实践等。首先，人工智能在运动神经行为分析中，通过模拟人类大脑的神经网络，处理复杂的运动数据，识别运动模式，预测行为，应用于治疗神经性疾病、改善运动表现及康复。其次，人工智能在运动心理技术中，通过高精度传感器和可穿戴设备实时采集步态、脑电、肌电、近红外光谱（NIRS）和功能性磁共振成像（fMRI）数据，进行模式识别和特征提取，提供个性化的训练和康复建议。在步态分析中，人工智能帮助评估运动能力和损伤风险；在脑电分析中，人工智能通过脑电波评估心理状态和决策过程；在肌电分析中，人工智能优化训练方案，提高运动表现并预防损伤；在 NIRS 分析中，人工智能评估生理状态，预测和预防运动损伤；在 fMRI 中，人工智能揭示脑活动模式和神经机制，支持运动心理学研究。最后，人工智能在运动心理训练中的应用，借助虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，创建沉浸式训练环境，通过模拟比赛场景和压力情境，帮助运动员提高心理素质和运动表现。通过这些人工智能驱动的个性化训练系统，整合心率、脑电波、肌电信号等多种数据，提供量身定制的训练方案，全面提升运动员的表现和心理健康。

6.1 运动神经行为的人工智能分析

在神经科学领域，特别是在运动神经科学中，人工智能的应用已经逐渐成为一个重要的研究方向。通过人工智能技术，能够更深入地理解运动神经行为，从而在治疗神经性疾病、改善运动表现以及运动康复等方面取得显著进展。

运动神经科学研究旨在即时神经系统控制和协调运动行为的机

制，随着人工智能的发展，更为高效的工具和方法不断应用于实践中，通过模拟人类大脑的神经网络，人工智能能够处理大量复杂的运动数据，进行模式识别和行为预测。现有的深度学习神经网络模型包括卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）等，能够帮助研究人员解码运动神经元的活动模式，分析图像和视频的时间序列数据，捕捉运动中的动态变化，并将这些模式与具体的运动行为联系起来^[1,2]。

6.1.1 构建全方面监测与评估方案，实现运动行为分析

人工智能技术在运动行为分析中发挥着越来越重要的作用，提供了从数据采集、处理到分析的一整套解决方案^[3]。人工智能通过机器学习和深度学习算法，可以高效地分析复杂的运动行为数据，揭示隐藏在数据中的模式和规律，为运动员和教练员提供科学的训练和比赛建议。

在运动行为分析中，人工智能的应用首先体现在运动数据的采集和处理上。通过使用高精度传感器和可穿戴设备，人工智能系统能够实时捕捉运动员的各种生理和运动数据，如心率、步频、肌肉活动和运动轨迹等。这些数据通过无线传输到人工智能平台，进行初步的数据清洗和预处理，以确保数据的准确性和完整性^[4,5]。人工智能在运动行为分析中的另一个重要应用是运动模式识别和行为预测。利用人工智能技术，可以将动物行为视频与神经成像数据进行自动化映射，从而预测和模拟基于神经活动数据的动物行为，使用概率框架对行为视频进行无监督分析，并对神经活动进行半监督解码，生成全分辨率的行为视频模拟^[6]。在实际应用中通过训练人工智能模型，系统可以识别出运动员的不同运动模式，并根据历史数据预测未来的运动行为。这种技术在竞技体育中尤为重要，可以帮助教练员制定针对性的训练计划，提高运动员的技术水平和比赛表现^[7-9]。

此外，人工智能还可以用于运动损伤的预测和预防。通过对大量运动员的运动数据进行分析，人工智能能够识别出与运动损伤相关的

风险因素，如过度训练、技术动作不当等，可以为运动员提供科学的训练建议，调整训练强度和方法，以避免运动损伤的发生。人工智能还可参与心理因素的分析和调节，如焦虑、紧张和压力，往往会影响运动员的表现。通过分析运动员在训练和比赛中的生理和行为数据，可以评估他们的心理状态，并提供相应的心理调节建议^[10,11]。

6.1.2 提供运动控制创新治疗方案，实现运动神经反馈与调控

基于人工智能的运动神经反馈与调控技术为感觉运动障碍患者提供了创新的治疗方法，这类生物反馈方法可以帮助患者重新评估不同的生理反应，并学会对这些反应进行自我控制^[12,13]。生物反馈的临床应用主要通过实时提供肌电图（EMG）、关节角度或力参数的视觉或音频反馈，来重新辅助运动控制。患者可以通过生物反馈自愿控制单块肌肉的激活，并更好地理解和调节自己的 EMG 信号。然而，生物反馈训练的有效性背后的神经机制尚不明确，可能通过激活未使用或未充分利用的神经回路，增强神经可塑性，从而帮助患者在没有反馈的情况下完成任务^[14]。

近年来，基于人工智能的生物反馈系统显著提高了治疗的有效性和精确性。例如，结合高精度传感器和算法，这些系统能够实时捕捉和分析运动数据，提供个性化的反馈和训练方案。在动态生物反馈方面，人工智能技术可以实时监测并调整患者的运动，帮助他们在功能相关的任务中进行有效的康复训练。

总体而言，基于人工智能的运动神经反馈与调控通过引入辅助感官输入，增强了神经可塑性，为神经康复提供了有力支持。未来，随着人工智能技术的不断进步，我们可以期待其在运动神经科学中发挥更大的作用，为患者提供更多创新的治疗方案。

6.2 运动心理技术中的人工智能应用

6.2.1 推动精准步态分析，实现个性化康复和训练

步态分析是运动心理学和运动科学中重要的研究领域，通过对步

态特征的深入分析，可以评估个体的运动能力、健康状况和潜在的运动损伤风险。人工智能技术在步态分析中的应用为这一研究领域带来了革命性的变化，利用机器学习和深度学习算法，能够处理和分析复杂的步态数据，识别不同的步态模式，并提供个性化的训练和康复建议。

通过使用高精度传感器和可穿戴设备，人工智能系统能够实时捕捉个体的步态数据，包括步长、步幅、步频和关节角度等。这些数据通过无线传输到人工智能平台，进行数据预处理，以确保数据的准确性和完整性。然后，人工智能系统通过 CNN 等深度学习算法，提取步态特征，并进行模式识别^[15]。视觉人体动作识别通常包括以下三个步骤：首先，从图像帧中检测运动信息并提取基础特征；其次，对行为模式或动作进行建模；最后，建立底层视觉特征与动作类别等语义信息之间的对应关系。随着人工智能的发展，包括 CNN 和 RNN 等深度学习算法能够自动进行图像特征提取和信息整合，将拍摄到的人体动作二维图像转换为特征数据输入，利用深度学习算法识别动作后，构建人体运动学模型，并基于提取的底层视觉特征，获取连续图像中的运动学参数，预测或估计目标对象在图像序列中的位置和方向，与视频数据集中的动作类别等语义信息进行对比，通过识别连续图像中具有相同或相近特征的目标，自动化地运用计算机视觉技术识别人动作，从而为个人技术优化提供依据。

在实际训练中，为科学采集实际条件下运动员参数，基于计算机视觉的机器学习技术在人体动作捕捉方面的迅速发展为跳台滑雪的动作姿态分析提供了新的可能性^[16]，传统的机器学习难以精准捕捉人体复杂的非线性结构及连续运动帧之间的时空关系，无法对运动训练进行及时准确地分析。而现有的深度学习方法多采用 CNN、RNN 等，利用已有的人工标记数据集进行模型训练，随后将视频输入经过训练的神经网络，进行人体动作姿态的识别与捕捉^[17]。当前，通过多台摄

像机同步多视角拍摄人体动作姿态，并结合深度学习算法能够快速、精准获取人体关节点位和关键标记点的三维空间坐标^[18]。为解决不同运动尤其是非实验室条件下科学测量评价的局限性，人工智能动作捕捉已应用于标枪、速度滑冰、跳台滑雪运动员的技术动作分析^[19,20]，有效解决了传统运动训练技战术分析主要依赖教练员的个人经验的问题，有助于从日常训练和正式比赛中精确获取并分析运动员的各项生物力学参数，为教练员在备战期间提供客观数据支撑。

6.2.2 推动精准脑电分析，实现心理状态和决策过程评估

人脑在协调身体运动方面起着关键作用，通过处理感觉信息和生成运动输出信号^[21]。脑—肌肉张力水平与动作电位的频率和幅度相关，是人体运动意图的指示器。脑电图（EEG）研究在理解人体运动方面发挥着重要作用^[22]。

传统的定量 EEG 技术存在局限性，包括主观解释错误和视觉分析中的挑战。这些技术无法区分正常和异常模式，仅依赖于统计偏差。为了克服这些局限性，基于人工智能的研究工具的发展和应用提供了有希望的解决方案。

门控循环单元（GRU）算法是一种深度学习技术，在人工智能领域受到了关注^[23,24]。它利用机器学习来纠正输入信号数据和预期输出之间的错误。在各种深度学习循环神经网络中，长短期记忆（LSTM）算法常用于缓解循环神经网络在短期记忆任务中的损失效应问题。结合利用 GRU 深度学习算法，可基于脑的运动指令信号分类人体运动类型，优化性能指标以提高运动预测的准确性，有助于基于 EEG 信息进行姿势控制预测和运动识别。

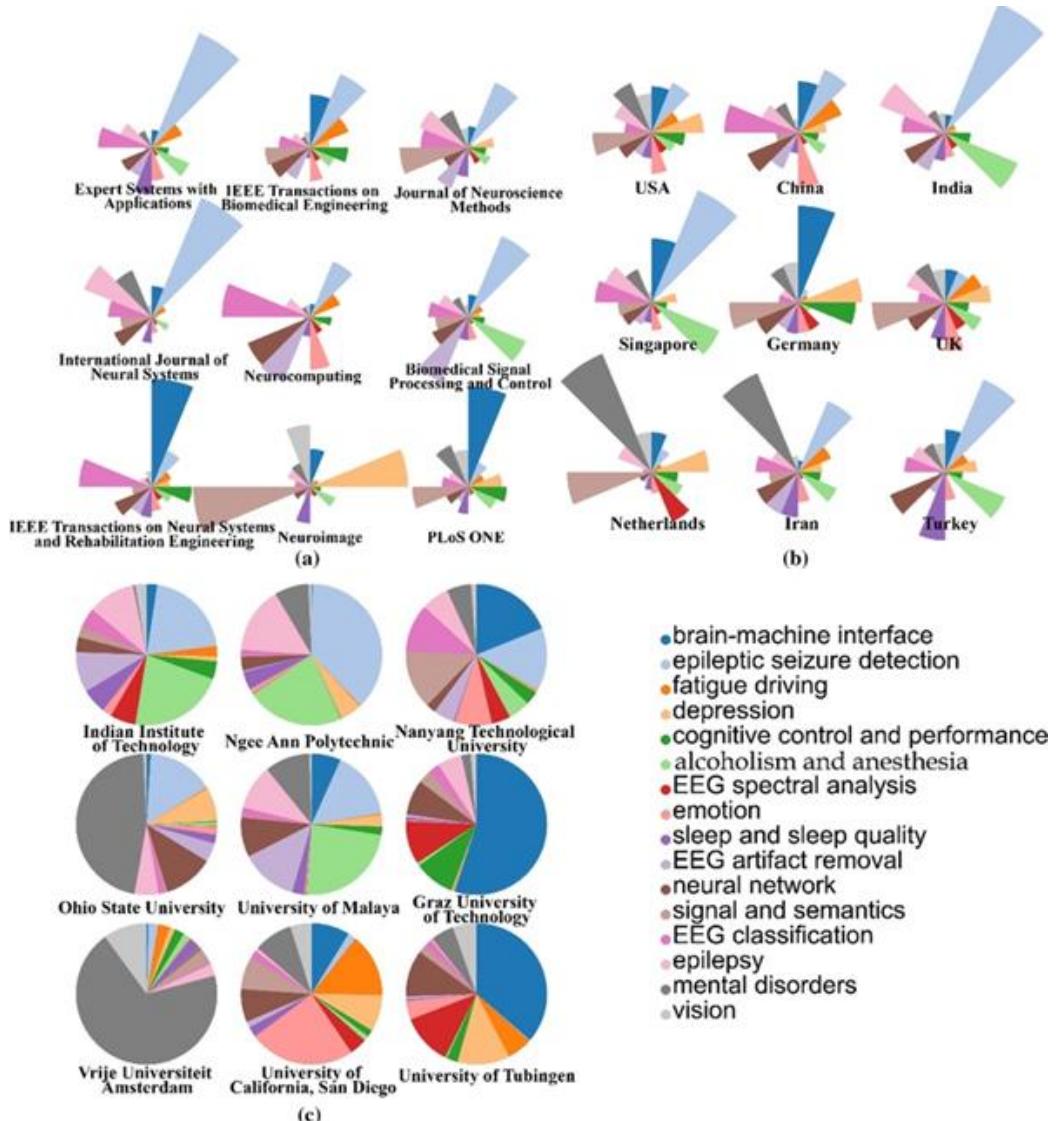
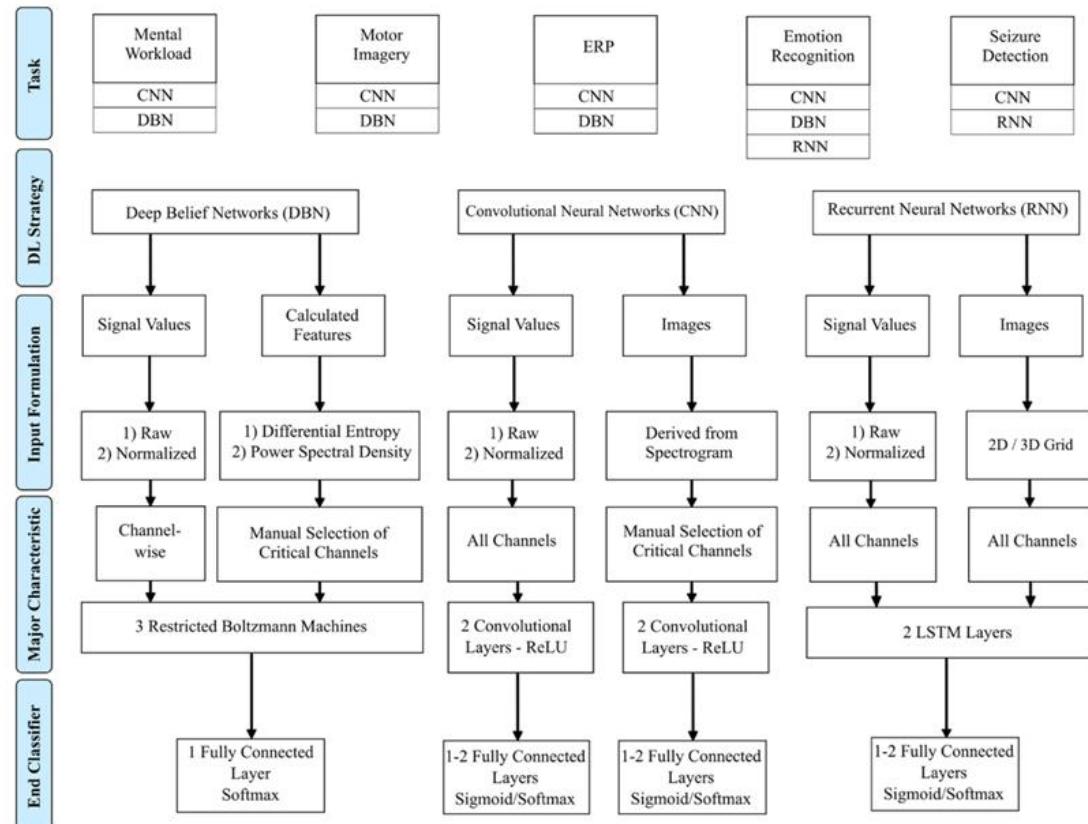


图 6-1 AI 增强脑电图研究文章主要期刊、国家/地区和机构的主题分布^[21]

人工智能技术的引入，为脑电分析提供了强大的工具和方法，使得从复杂的 EEG 信号中提取有意义的特征变得更加高效和准确。这些分析结果对于调整训练计划和提高运动表现具有重要意义。

图 6-2 特定任务的深度学习推荐图^[28]

在实际应用中，人工智能脑电分析系统可以帮助教练员和运动员实时监测脑电活动，提供科学的训练建议。例如，在射击运动中，运动员需要高度集中注意力，通过人工智能系统分析运动员的脑电波，可以评估其专注度，并提供个性化的心理训练方案，帮助运动员提高注意力集中能力^[25]。在足球比赛中，人工智能系统可以通过分析球员在比赛中的脑电活动，评估其心理压力和决策过程，帮助教练员制定更有效的战术策略^[26]。

此外，人工智能脑电分析还可以用于研究运动心理状态对运动表现的影响。通过结合脑电数据和运动表现数据，研究人员可以揭示不同心理状态下的脑活动模式，探索心理因素在运动中的作用。例如，通过分析运动员在高压比赛中的脑电波，研究人员可以研究焦虑和压力对运动表现的影响，为心理调节和训练提供理论基础^[27,28]。

6.2.3 推动精准肌电分析，实现肌肉力量和激活模式评估

肌电图（EMG）分析是评估肌肉活动和运动控制能力的重要工具，广泛应用于运动训练和康复中^[29]。人工智能技术通过先进的算法和计算能力，为肌电分析提供了新的方法和工具，使得从肌电信号中提取关键特征和进行模式识别变得更加高效和准确^[30]。人工智能技术通过机器学习和深度学习算法，可以处理复杂的肌电信号，进行特征提取和分类。例如，CNN 和 LSTM 在肌电信号分析中表现出色，能够捕捉时空特征，识别不同的肌肉激活模式。通过对大量肌电数据的训练，人工智能系统可以识别出运动员在不同运动状态下的肌肉活动水平，并提供个性化的训练建议^[31]。人工智能技术在肌电分析中的应用为运动科学和康复医学提供了强大的工具，通过对肌电数据的高效分析和准确预测，帮助运动员和教练员优化训练方案，提高运动表现，并预防运动损伤。

在实际应用中，人工智能肌电分析系统可以帮助教练员和运动员实时监测肌肉活动，提供科学的训练建议。例如，在力量训练中，通过人工智能系统可以分析肌电信号，评估肌肉的激活模式和力量分配情况，提供关于力量训练的优化建议，帮助运动员提高训练效果。在康复训练中，人工智能系统可以监测患者的肌电活动，评估康复进展，提供个性化的康复训练方案，帮助患者恢复肌肉功能。肌纤维类型被认为是评估运动员能力的重要参数，已有一些研究尝试将肌电图（EMG）参数与肌纤维类型联系起来，作为一种间接估算肌纤维类型的无创方法，以代替肌肉活检的方式。通过结合高密度表面肌电图^[32]与肌肉组织取样的金标准技术（即肌肉活检），系统研究在自愿收缩期间非侵入性识别的大量运动单位的传导速度与肌纤维尺寸（即纤维直径和横截面积）之间的关系，这一方法实现了通过表面肌电图处理来无创估算平均纤维直径和横截面积，而无需活检，为衰老、训练和神经肌肉疾病的研究开辟新的途径^[33]。

6.2.4 推动近红外光谱分析，辅助生理状态和运动表现评估

近红外光谱（NIRS）技术是一种非侵入性的方法，用于监测组织中的血氧饱和度和血流变化，这些变化反映了局部氧合血红蛋白（oxygenated hemoglobin, HbO）和脱氧血红蛋白（deoxyhemoglobin, HbR）的浓度，而 HbR 和 HbO 的浓度在特定的皮质区域增加或减少与精神状态密切相关。人工智能技术在 NIRS 中的应用，为运动科学和康复医学提供了强大的工具，通过对 NIRS 数据的分析，可以实时评估运动员的生理状态和运动表现^[34,35]。人工智能技术通过深度学习算法，可以处理大规模的 NIRS 数据，进行特征提取和模式识别。例如，一种基于脑地形图的脑电信号和近红外信号的融合分类方法 MBTMNN，结合了全脑信号的生理特征和卷积神经网络在图像上的特有优势，提高了分类识别率，并可视化分析在不同场景中分类性能提升机理^[36]。通过对大量 NIRS 数据的训练，人工智能系统可以识别出不同运动状态下的组织氧合模式，并提供个性化的训练建议。人工智能技术在 NIRS 分析中的应用为运动科学和康复医学提供了强大的工具，通过对 NIRS 数据的高效分析和准确预测，帮助运动员和教练员优化训练方案，提高运动表现，并预防运动损伤。

人工智能在 NIRS 分析中的重要应用是运动损伤的预测和预防。通过对大量运动员的 NIRS 数据进行分析，人工智能系统能够识别出与运动损伤相关的风险因素，并提供科学的训练建议。例如，认知疲劳可以定义为启动或维持自愿任务的困难，其发作通常是由随着时间的推移进行复杂的心理活动触发的，这种状态对运动表现产生了负面影响^[37]，佩戴可穿戴传感器，并应用经过训练的机器学习模型来检测认知疲劳状态可实现自动监控运动员是否存在认知疲劳^[38]。基于这些分析结果，人工智能系统可以建议运动员调整训练强度和方法，以减少运动损伤的风险。此外，AI NIRS 分析还可以用于研究运动生理学和运动医学。通过结合 NIRS 数据和运动表现数据，研究人员可以揭

示不同运动状态下的生理反应模式，探索运动对生理系统的影响。例如，通过分析运动员在高强度训练中的 NIRS 数据，研究人员可以研究肌肉和脑组织的氧合变化，为运动训练和康复提供理论基础。

6.2.5 推动磁共振成像分析，辅助脑活动模式和神经机制研究

功能性磁共振成像（fMRI）是一种强大的脑成像技术，用于研究大脑的功能活动和神经网络。使用人工智能处理核磁共振数据的过程，可以理解为应用人工智能对图像中的每一个像素进行预测，从而智能识别图像的人体器官或者某一器官对应的可塑性变化位置，揭示运动员在不同运动任务中的脑活动模式和神经机制^[39]。人工智能在 fMRI 中的应用越来越广泛，涵盖了从数据预处理、特征提取到模式识别和结果解释等多个方面。使用人工智能可自动选择和优化成像协议，进行智能校准和定位，例如：可利用卷积神经网络（CNN）来检测、校正由于患者运动引起的图像伪影和失真，递归神经网络（RNN）可用于对时间序列数据进行平滑处理，去除噪声，增强信号的可靠性，这些深度学习神经网络可以实现空间归一化，将不同个体的 fMRI 数据对齐到一个标准的大脑模板，以便进行跨个体比较。特征提取中，自动编码器（Autoencoders）可用于学习 fMRI 数据的低维表示，保留数据中的重要特征，结合 CNN 和长短期记忆网络（LSTM）等模型，可提取 fMRI 数据中的时空特征，以捕捉脑活动的动态变化。人工智能量化高效处理 fMRI 数据为脑功能网络分析、疾病分类、任务相关脑活动识别等模式识别和分类任务提供了较大便利，使用图神经网络（Graph Neural Networks）对 fMRI 数据构建的大脑功能链接网络进行分析，识别出不同的脑网络模式，以及通过 K 均值聚类、层次聚类、主成分分析等算法可发现不同亚型疾病在 MRI 图像上的表现有显著差异，有助于识别疾病的异质性和病理生理机制，提高临床治疗效果^[40-42]。人工智能技术在 fMRI 中的应用极大地提升了数据分析的自动化和智能化水平，不仅提高了分析的效率和精度，还推动了

脑科学和神经科学的研究进展。未来，随着人工智能技术的不断发展和应用场景的扩展，人工智能在 fMRI 中的应用将会更加广泛和深入。

人工智能在 fMRI 中的应用为运动心理学研究提供了强大的工具，不仅提高了数据处理和分析的效率，还揭示了运动与心理过程之间复杂的神经机制。人工智能可以用于检测和分类与特定运动任务相关的脑活动模式。例如，通过 CNN 分析 fMRI 数据，可以识别出不同运动任务所激活的大脑区域；使用图神经网络等人工智能技术，可以构建和分析与运动相关的大脑功能网络，研究不同运动任务中脑网络的动态变化，揭示运动过程中大脑的协同工作机制^[6]。更重要的是，人工智能技术有助于神经机制的深入研究，通过分析学习新运动技能前后或长期训练运动员的 fMRI 数据的变化，揭示运动技能的学习和记忆过程中大脑的活动模式和网络结构变化，分析运动对认知功能（如注意力、执行功能、空间导航等）的影响，研究运动与认知功能之间的相互作用及其神经基础^[43]。在实际运动训练中人工智能和 fMRI 一方面可以通过获得大量运动员的样本数据，利用深度学习模型预测其运动表现和训练效果，有助于进行运动选材并帮助制定个性化的训练计划，提高选材的效率和训练的针对性。另一方面，人工智能技术可以分析运动前后 fMRI 数据的变化，识别与情绪调节相关的大脑区域，分析这些区域在不同运动类型和强度下的活动模式变化。深度图像生成模型可以产出不同的视觉刺激，针对性地刺激大脑活动，而现在大语言模型的出现为运动员心理干预提供了新的可能性，可利用大语言模型定向激活或抑制人脑中的语言网络，调节运动员的情绪^[44]。

人工智能在 fMRI 中的应用为运动心理学研究提供了新的方法和工具，使得研究人员能够更深入地探索运动与心理过程之间的复杂关系。这不仅有助于理解运动对大脑和心理健康的影响，还可以为运动训练和心理干预提供科学依据和技术支持。随着人工智能技术的不断

进步，未来在这一领域的应用前景将更加广阔。

6.3 人工智能在运动心理训练中的应用

6.3.1 构建虚拟现实（VR）系统，创新运动心理训练方法

虚拟现实技术（Virtual Reality, VR）是一种集仿真技术、多媒体技术、传感技术以及网络等多种技术于一体的新型技术。VR 的核心特性包括多感知性、沉浸性、交互性和想象性。用户可以通过头戴式显示器（Head-Mounted Display, HMD）等设备，进入虚拟环境，并与虚拟世界中的对象进行交互。随着硬件性能的显著提升和软件编程技术的不断创新，VR 技术广泛应用于游戏、教育、医疗、军事训练等多个领域。

在体育运动领域，尤其是在高水平运动员中，VR 的应用开始得到越来越多地关注。通过创建高度沉浸式的虚拟训练环境，VR 技术可以模拟各种真实的运动场景，使运动员在一个安全和可控的环境中进行高效训练。其中常见的虚拟现实技术包括动画 VR 和 360° VR。360° VR 呈现的是预先录制的特定环境的真实世界视频片段，而动画 VR 呈现的是动画（即计算机生成的图像）环境场景，这些场景可以根据用户与环境中的虚拟对象的交互方式实时变化^[45]。

360° VR 技术在训练运动员的感知认知技能方面具有显著效果。与 2D 视频训练相比，360° VR 训练通过 VR 头戴设备（允许参与者转动头部）更多地沉浸在训练刺激中，可能使运动员的决策能力得到更大改善，提高现实世界情境中的决策能力，同时有利于保持运动员的认知参与度^[45]。比如，足球运动员可以在 VR 环境中沉浸式观看不同比赛场景，通过学习决策过程和动作表现，从而提高现实世界中的战术选择和技术动作。然而，目前的研究多集中于短期影响，长期使用此类工具的影响尚不清楚。

动画 VR 在训练感知认知技能中比较少见。Gray 评估在自适应棒球击球虚拟环境中训练的感知—运动技能是否能够转移到真实的棒球

表现上^[46]。结果发现自适应虚拟环境训练组在大多数表现指标上的改善显著大于其他组。此外，这组球员在联盟比赛中的击球统计数据更优秀，达到的竞争水平也更高。Tsai 等人研究比较了用于篮球战术训练的传统工具（例如白板和 2D 视频屏幕）与动画 VR 模拟的训练效果，结果发现 VR 组在复杂战术中的运动模式（跑位正确性）方面有显著改善^[47]。

在实际应用中，VR 还可以模拟比赛场景和压力情境，帮助运动员进行抗压力、抗干扰模拟训练。何颖等人根据短道速滑专项的特点研发了专用型的 VR 训练系统，构建了 6 个贴近短道速滑专项特征和比赛特点的虚拟场景，帮助运动员在日常的模拟训练中感受到压力和干扰，并形成比赛心理应对策略，制定相应的训练方案^[48]。同时将 VR 训练软件与硬件头戴式设备、操控手柄、心率仪等实现了心理、生理和行为评价指标的同步交互。

总的来说，VR 是运动心理训练的一个新兴工具，创新了运动科学和训练方法。通过创建沉浸式的虚拟环境和实时的人工智能反馈系统，运动员可以在更安全、更高效的环境中进行训练，提高运动感知认知水平、决策能力和心理素质。

6.3.2 构建增强现实（AR）系统，优化运动心理干预模式

增强现实技术（AR）与 VR 不同，是通过音频、视频、图形或位置数据等计算机生成元素，合并真实世界视图的技术。AR 可以进一步在现实世界环境中叠加虚拟对象。叠加在现实世界中的虚拟感知信息本质上可以是添加的（即添加到自然环境中执行的任务中的刺激），也可以是掩盖的（即遮挡/隐藏自然环境的某些元素）。

通过一些手持设备，例如智能手机或智能眼镜在用户的视野范围内将虚拟物体的图像呈现在现实世界环境之上。例如，游泳者在游泳时，每 100 米的速度可以实时呈现在他们的视野范围内。AR 的一个显著缺点是它不允许用户与自然环境中出现的虚拟物体进行物理交

互或改变其位置或外观，并且物体的真实感（例如亮度）可能较低^[46]。

AR 在体育训练中提供了一种可能性，可以创建难以在场地上再现的定制场景，并且可以根据运动员的特定需求进行个性化调整。

AR 通过提供视觉提示和动作分析，帮助运动员理解和模拟运动技巧。例如，在篮球中，AR 可以展示理想投篮轨迹，帮助运动员改进投篮技巧。此外，AR 系统能够在运动员训练时提供实时反馈，如动作捕捉和表现分析，使教练和运动员能够立即识别和纠正技术问题^[49]。

增强现实（AR）技术在体育教育和训练领域的应用展现出巨大潜力，但其实际应用仍面临一系列技术与体验上的局限性。Janssen 认为 AR 应用可能增加用户的感知和认知负荷，且过度依赖实时反馈可能影响技能的自主学习和有效转移^[49]。

6.3.3 搭建个性化运动心理训练系统，全面提升运动表现和心理素质

人工智能驱动的个性化运动心理训练系统通过结合各种生理和心理数据，为每位运动员提供量身定制的训练方案。这些系统利用机器学习和深度学习算法，从大量的运动数据中提取个性化特征，生成针对性的训练建议，以帮助运动员全面提升运动表现和心理素质。

人工智能个性化训练系统通过整合多种数据源，包括心率、脑电波（EEG）、肌电信号（EMG）和步态数据等，实时监测运动员的生理和心理状态。何颖^[48]等人通过模拟短道速滑的专项压力情境、干扰情境，结合可穿戴技术，实时记录运动员的主要生理数据，并根据其变化呈现相应的场景和结果反馈，最终实现训练场景与心理、生理、行为评价指标的交互，并制定个性化的心灵训练方案。该系统可为用户设置个性化信息（如姓名、年龄、性别和主攻的项目等），并实时记录用户常用的训练场景和训练数据，形成个人的数据库，心灵训练专家可根据用户的使用习惯并综合其技术特点和心理特征制定专属训练方案（如训练场景、难度、评价标准等）。

6.4 本章小结

运动心理分析是体育领域的一个重要组成部分。在运动心理学领域，人工智能技术在运动员的生理和心理数据收集和分析、心理状态实时监测和分析、预测模型构建、个性化心理训练方案促进以及基于VR和AR技术的模拟训练环境建立等方面已有了广泛应用。随着人工智能技术的快速发展、体育产业的不断发展和人们对健康生活的追求，运动心理分析领域的市场需求将持续增长，通过深度学习、自然语言处理、计算机视觉等先进技术，将进一步实现更精准的运动员的心理状态评估与干预，提供更个性化的心灵训练和调整建议，揭示更多关于运动表现和心理状态之间关系的知识，为运动员和体育产业带来更多的福祉和发展机遇。

第6章参考文献

- [1] Marhis A, Mamidanna P, Cury KM, et al. DeepLabCut: Markerless Pose Estimation of User-Defined Body Parts with Deep Learning. *Nature neuroscience*, 2018, 21(9): 1281–1289.[期刊]
- [2] Mah KM, Torres-espin A, Hallworth BW, et al. Automation of Training and Testing Motor and Related Tasks in Pre-Clinical Behavioural and Rehabilitative Neuroscience. *Experimental Neurology*, 2021, 340: 113647.[期刊]
- [3] Battleday RM, Peterson JC, Griffiths TL. From Convolutional Neural Networks to Models of Higher-Level Cognition (and back again). *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2021, 1505(1): 55–78.[期刊]
- [4] Batty NJ, Torres-espin A, Vavrek R, et al. Single-Session Cortical Electrical Stimulation Enhances the Efficacy of Rehabilitative Motor Training after Spinal Cord Injury in Rats. *Experimental Neurology*, 2020, 324: 113136.[期刊]

- [5] Macpherson T, Churchland A, Sejnowski T, et al. Natural and Artificial Intelligence: A Brief Introduction to the Interplay between AI and Neuroscience Research. *Neural Networks: the official journal of the International Neural Network Society*, 2021, 144: 603–613.[期刊]
- [6] Bshivan P, Kar K, Dicarlo JJ. Neural Population Control Via Deep Image Synthesis. *Science*, 2019, 364(6439):aav9436.[期刊]
- [7] Brooks J, Kerr M, Guttag J. Using Machine Learning to Draw Inferences from Pass Location Data in Soccer. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal*, 2016, 9(5):338-349.[期刊]
- [8] Nadikattu RR. Implementation of New Ways of Artificial Intelligence in Sports. *Journal of Xidian University*, 2020, 14(5):5983-5997.[期刊]
- [9] 霍波,李彦锋,高腾,等.体育人工智能领域关键技术的研究现状和发展方向.《首都体育学院学报》,2023,35(03):233-256.[期刊]
- [10] Zhou Z, Wu TC, Wang B, et al. Machine Learning Methods in Psychiatry: A Brief Introduction. *General Psychiatry*, 2020, 33(1):e100171.[期刊]
- [11] Yassin W, Nakatani H, Zhu Y, et al. Machine-Learning Classification Using Neuroimaging Data in Schizophrenia, Autism, Ultra-High Risk and First-Episode Psychosis. *Translational Psychiatry*, 2020, 10(1):278.[期刊]
- [12] Huang H, Wolf SL, He J. Recent Developments in Biofeedback for Neuromotor Rehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 2006, 3:11.[期刊]
- [13] Comaduran Marquez D, Von Tscharner V, Murai K, et al.

- Development of a Multichannel Current-EMG System for Coherence Modulation with Visual Biofeedback. PloS One, 2018, 13(11):e0206871.[期刊]
- [14] Posada-gomez R, Montano-murillo RA, Martinez-sibaja A, et al. An Interactive System for Fine Motor Rehabilitation. Rehabilitation Nursing: the Official Journal of the Association of Rehabilitation Nurses, 2018, 43(2):116–124.[期刊]
- [15] Yichen W, Yamashita H. Lineup Optimization Model of Basketball Players Based on the Prediction of Recursive Neural Networks. International Journal of Economics and Management Engineering, 2021, 15(3):287-293.[期刊]
- [16] Gabbett TJ, Jenkins DG, Abernethy B. Physical Demands of Professional Rugby League Training and Competition Using Microtechnology. Journal of Science and Medicine in Sport, 2012, 15(1):80-86.[期刊]
- [17] Geiger M, Supiot A, Pradon D, et al. Minimal Detectable Change of Kinematic and Spatiotemporal Parameters in Patients with Chronic Stroke across Three Sessions of Gait Analysis. Human Movement Science, 2019, 64:101-107.[期刊]
- [18] 苑廷刚, 王国杰, 何卫, 等.视频图像多重处理技术在体育科研领域中的应用和发展.中国体育科技, 2022, 58(11):92-102.[期刊]
- [19] 吕钢, 孙凯扬, 买毅强, 等.空气动力学距离对标枪运动员运动表现的影响:优秀女子标枪运动员吕会会投掷技术的个案研究.中国体育科技, 2021, 57(01):52-57.[期刊]
- [20] 张马森, 曲毅, 崔婧, 等.运动捕捉人工智能系统在速滑项目中的应用.科学技术与工程, 2022, 22(14):5674-5680.[期刊]
- [21] Chen XL, Tao XH, Wang FL, et al. Global Research on Artificial

- Intelligence-enhanced Human Electroencephalogram Analysis. Neural Computing & Applications, 2022, 34(14):11295-11333.[期刊]
- [22] Yoo KS. Motion Prediction Using Brain Waves Based on Artificial Intelligence Deep Learning Recurrent Neural Network. Journal of Exercise Rehabilitation, 2023, 19(4):219–227.[期刊]
- [23] Liao CY, Tai SK, Chen RC, et al. Using EEG and Deep Learning to Predict Motion Sickness under Wearing a Virtual Reality Device. IEEE Access, 2020, 8:126784-126796.[期刊]
- [24] Gemein LAW, Schirrmeyer RT, Chrabqszcz P, et al. Machine-Learning-Based Diagnostics of EEG Pathology. Neuroimage, 2020, 220:117021.[期刊]
- [25] Hung MH, Lin KC, Wu CC, et al. Effects of Complex Functional Strength Training on Balance and Shooting Performance of Rifle Shooters. Applied Sciences, 2021, 11(13):6143.[期刊]
- [26] 李垂坤,张业廷,魏翠兰,等.足球运动对运动员源定位及脑功能连接的影响研究.中国体育科技,2022, 58(11):51-62.[期刊]
- [27] Rlauf B, Longo L. An Evaluation of the EEG Alpha-to-Theta and Theta-to-Alpha Band Ratios as Indexes of Mental Workload. Frontiers in Neuroinformatics, 2022, 16:861967.[期刊]
- [28] Craik A, He Y, Contreras-vidal JL. Deep Learning for Electroencephalogram (EEG) Classification Tasks: A Review. Journal of Neural Engineering, 2019, 16(3):031001.[期刊]
- [29] Felici F, Del Vecchio A. Surface Electromyography: What Limits Its Use in Exercise and Sport Physiology? Frontiers in Neurology, 2020, 11:578504.[期刊]
- [30] Phatak AA, Wieland FG, Vempala K, et al. Artificial

Intelligence-Based Body Sensor Network Framework-Narrative Review: Proposing an End-to-End Framework Using Wearable Sensors, Real-Time Location Systems and Artificial Intelligence/Machine Learning Algorithms for Data Collection, Data Mining and Knowledge Discovery in Sports and Healthcare. *Sports Medicine*, 2021, 7(1):79.[期刊]

- [31] De Las Casas H, Bianco S, Richter H. Targeted Muscle Effort Distribution with Exercise Robots: Trajectory and Resistance Effects. *Medical Engineering & Physics*, 2021, 94:70-79.[期刊]
- [32] Holobar A, Farina D. Blind Source Identification from the Multichannel Surface Electromyogram. *Physiological Measurement*, 2014, 35(7):R143–R165.[期刊]
- [33] Casolo A, Maeo S, Balshaw TG, et al. Non-Invasive Estimation of Muscle Fibre Size from High-Density Electromyography. *The Journal of physiology*, 2023, 601(10):1831–1850.[期刊]
- [34] Asadur MR, Shorif MU, Mohiuddina. Modeling and Classification of Voluntary and Imagery Movements for Brain-Computer Interface from fNIR and EEG Signals through Convolutional Neural Network. *Health information Science and Systems*, 2019, 7(1):22.[期刊]
- [35] Aydin AE. Subject-Specific Feature Selection for Near Infrared Spectroscopy Based Brain-Computer Interfaces. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2020, 195:105535.[期刊]
- [36] 何群,徐香院,江国乾,等.融合脑电与近红外脑地形图特征学习的多模式分类.中国生物医学工程学报.2023,42(03):301-310.[期刊]
- [37] Jahanpour ES, Berberian B, Imbert JP, et al. Cognitive Fatigue Assessment in Operational Settings: A Review and UAS Implications. *IFAC-Pap*, 2020, 53:330–337.[期刊]

- [38] Varandas R, Lima R, Bermudez I, Badia S, et al. Automatic Cognitive Fatigue Detection Using Wearable fNIRS and Machine Learning. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 2022, 22(11):4010.[期刊]
- [39] Won J, Callow DD, Pena GS, et al. Evidence for Exercise-Related Plasticity in Functional and Structural Neural Network Connectivity. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 2021, 131:923–940.[期刊]
- [40] Gore JC. Artificial Intelligence in Medical Imaging. *Magnetic Resonance Imaging*, 2020, 68:A1–A4.[期刊]
- [41] Park S, Park YH, Huh J, et al. Deep Learning Model for Differentiating Acute Myeloid and Lymphoblastic Leukemia in Peripheral Blood Cell Images Via Myeloblast and Lymphoblast Classification. *Digital Health*, 2024, 10:20552076241258079.[期刊]
- [42] Hardy M, Harvey H. Artificial Intelligence in Diagnostic Imaging: Impact on the Radiography Profession. *The British Journal of Radiology*, 2020, 93(1108):20190840.[期刊]
- [43] 吴殷, 张剑, 曾雨雯, 等. 不同类型运动项目对运动员大脑结构可塑性变化研究. *体育科学*, 2015, 35(04):52-57.[期刊]
- [44] Tuckute G, Sathe A, Srikant S, et al. Driving and Suppressing the Human Language Network Using Large Language Models. *BioRxiv: the preprint server for biology*, 2023, 4:537080.[期刊]
- [45] Le Noury P, Polman R, Maloney M, et al. A Narrative Review of the Current State of Extended Reality Technology and How It Can Be Utilised in Sport. *Sports Medicine*, 2022, 52(7):1473-1489.[期刊]
- [46] Gray R. Transfer of Training from Virtual to Real Baseball Batting. *Frontiers in Psychology*, 2017, 8:2183.[期刊]
- [47] Tsai WL, Pan TY, Hu MC. Feasibility Study on Virtual Reality Based Basketball Tactic Training. *IEEE Transactions on*

- Visualization and Computer Graphics, 2022, 28(8):2970-2982.[期刊]
- [48] 何颖, 张照, 杨舒, 等. 基于 VR 技术的短道速滑模拟训练系统
的研发与应用. 北京体育大学学报, 2023, 46(7):52-64.[期刊]
- [49] Janssen T, Muller D, Mann DL. From Natural towards
Representative Decision Making in Sports: A Framework for
Decision Making in Virtual and Augmented Environments. Sports
Medicine, 2023, 53(10):1851-1864.[期刊]

第7章 智能体育训练装备和健身器材

智能体育训练装备是指运动训练和科学健身中所采用的智能化装备，利用人工智能、物联网、大数据分析等技术来增强训练和健身效果，包括智能跑步机、功率车、力量训练器械交互操作的训练平台等。该类设备的核心功能之一是运动监测，配备高精度传感器实时捕捉用户的运动状态，包括步数、速度、距离、心率和卡路里消耗等关键指标，可以了解运动表现，调整训练强度，避免过度训练。此外，智能训练设备还具备强大的数据分析能力，利用先进算法对数据进行深入分析，提供个性化训练建议，如运动强度调整、训练时间优化和恢复时间安排，帮助用户更科学地制定训练计划，提高训练效率。

智能体育训练设备还支持远程指导和在线互动。连接互联网后，用户可以访问专业教练资源、训练课程和社区互动。用户通过设备与教练实时沟通，获得专业指导和反馈，设备根据用户反馈和进步动态调整训练计划，确保训练的连续性和有效性。在用户界面设计方面，设计简洁直观，用户可轻松设置训练参数、查看训练数据和调整训练计划。一些设备支持语音控制和手势操作，提高操作便捷性。智能体育训练设备应用广泛，适用于个人健身爱好者、专业运动员、康复训练者和老年人。专业运动员通过监测训练负荷优化训练计划，可以提高运动表现；而康复训练者可获得安全的运动监测和指导，帮助恢复身体功能；老年人则通过此类智能设备获得适合的运动建议和提醒，以保持身体健康。

7.1 训练与健身智能装备概述

7.1.1 完善智能训练装备，推动智能训练装备全面普及

国内的智能训练装备的发展历程从最初的符号化阶段开始，通过统一符号语言提升分析的系统性与结构性，为数据分析提供了思路，具有开创性意义。随着计算机和互联网技术的发展，进入了信息化阶

段，实现了数据存储和利用的便捷性。1990年代中期，随着视频追踪、传感器等技术的发展，训练装备进入数字化阶段，运动训练的逻辑实现了量化、计算与建模。21世纪初，随着智能设备的普及，运动训练领域迎来了智能化阶段，智能算法开始被广泛应用于提升训练效果。当前，训练装备正朝着综合集成阶段发展，通过人工智能技术的成熟应用，设计更便捷智能的设备，开发多样化算法，实现训练计划、实施和反馈的全面智能化，构建起连接理论与实践的“智能桥梁”。

国外智能训练装备发展正朝着集成化、个性化、数据驱动和跨学科融合的方向迅速前进。通过传感器技术、人工智能、数据分析和云计算的快速发展，智能运动装备能够实时收集和分析运动员的生理数据、运动表现和环境因素，为运动员提供定制化的训练方案和实时反馈。这些装备还通过虚拟和增强现实技术，为运动员提供沉浸式的模拟训练环境，帮助他们更好地适应比赛场景，提高技能和心理素质。

国内外运动训练装备智能化发展面临的问题主要包括技术成熟度不足、用户接受度有待提升、数据隐私和安全保护、成本较高导致普及难度、标准化和兼容性不足、过度依赖技术、产品实用性和市场需求不匹配、技术与运动科学的结合不够紧密、市场教育不足、法规和政策更新滞后、国际标准化的挑战，以及在追求技术辅助提升运动表现的同时如何平衡人类运动员自身能力的提升。这些问题需要通过行业合作、技术创新、法规完善、市场教育和跨学科整合等多方面努力来共同解决，并使用智能训练装备将进一步推动运动训练的智能化和科学发展，提升运动员的训练效率和表现，促进体育产业的技术进步和市场扩张。智能训练装备的未来发展规划将聚焦于集成最新科技以提升智能化水平，提供个性化训练方案，实现实时生物反馈，运用AR和VR技术增强训练体验，通过云平台和大数据分析优化训练效果，确保跨设备兼容性，优化用户界面与体验，加入社区与社交功能，增强环境适应性，集成健康监测功能预防伤害，遵循政策与安全

标准，推动可持续发展，并提高市场教育与普及度，以提高训练效率，优化运动表现，并促进运动训练行业的技术进步和创新发展。

总之，智能训练设备通过先进的技术、个性化的服务和用户友好的设计，为用户提供了一个全面、高效、个性化的训练解决方案。随着技术的不断进步，智能训练设备将为人们的健康生活带来更多的便利和可能，推动体育、教育等多个领域的训练水平不断提升。

7.1.2 全面监控辅助科学化备战训练，提高奥运竞赛成绩

在高强度体育训练中，运动员需要实时监测体征数据，监控压力和情绪变化，以避免过度训练。以智能心电仪为例，通过无感穿戴设备高频采样，可实现实时体征数据监测，辅助科学训练，结合医疗级体征数据平台，协同平板电脑完成一整套智慧训练解决方案。例如，短道速滑队使用心电监测设备，通过长时间佩戴进行对运动员进行心脏风险筛查，及时发现风险，避免运动伤害。在高负荷训练中，运动员心跳速度会成倍上升，心脏容易受损。该设备可提供高心率风险监控，预防心脏损伤，并根据运动员的最大心率和储备心率制定个性化训练计划，提高训练效率和成绩。此外，设备也能监控运动员的睡眠质量，通过心率和心电变化发现不良睡眠状态，评估恢复情况。根据运动员体征的实时数据、运动训练课程的强度分析和训练效果分析，实现过度训练的早期发现并防止过度训练，完成日常训练生活的压力分析。



图 7-1 三导联心电仪

中国短道速滑队在 2022 年北京冬奥会上夺得首金，不仅源于运动员的刻苦训练，也离不开科研人员的技术支持。利用可穿戴传感器和激光雷达收集短道速滑和速度滑冰项目的运动数据，建立了考虑运动员个性化生理特征、装备特征和环境特征的数字运动员模型。通过实测和同步分析，建立了能量输出与节能减阻分析模型，有效评估各项滑行技术的影响因素。同时借鉴航空航天路线优化算法，找到了冰雪运动的最佳滑行路线，借助航空航天领域的人机环境研究建立模型，捕捉运动员的滑行姿势，身体高度，摆臂蹬腿的角度，分析运动员的肌肉能耗，找到了冰雪运动的最佳滑行姿势和最优体能分配方案。为运动员提供科学的技术支持，为训练方案的调整提供切实依据，为冲牌运动员精雕技术动作提供精准服务。自由式滑雪空中技巧运动员得高分的关键在于空中翻转姿态优美、落地平稳。内嵌式微型传感器的运动表现分析系统通过一整套内嵌几十片微型传感器的动作捕捉紧身衣、紧身裤、鞋垫、手套来收集记录穿戴着的肢体各部分的加速度、角速度等数据，并能准确还原运动员每次起跳过程中的风中稳定性、力学参数和空中姿态。相比传统光学传感器，惯性传感器智能服装具备更高的捕捉准确性、全天候和抗干扰能力，且传感器重量仅 0.9 克，体积仅为 1 元硬币的 1/3。传感器智能测量“精确到肌肉”的冬季运动智能训练系统，改变了此前裁判员打分主要靠主观判断难度系数的历史，推出的 4 项量化指标进入了国家队评分表。

7.2 智能健身器材

7.2.1 智能健身器材的特征

智能健身器材能够提供实时跟踪、个性化和互动体验，其影响力超越了传统的锻炼工具。人工智能（AI）、增强现实（AR）、虚拟现实（VR）和物联网的注入改变了健身行业，为用户提供了参与健康锻炼的创新方式。智能健身器材特征之一是其与智能手机和可穿戴设备的无缝连接。这种集成使用户能够实时跟踪和分析他们的锻炼数

据，接收运动数据，甚至参与虚拟训练课程。与个人设备同步功能增强了整体用户体验，并促进了数据驱动的健身管理。智能健身器材增加许多创新特性和功能，包括人工智能驱动的锻炼建议、健身课程的直播、用于实时反馈的交互式触摸屏以及虚拟现实元素的结合。这些功能的多样性和适应性有助于实现更具吸引力和有效的健身方案，满足不同的用户偏好和目标。

7.2.2 智能健身器材的作用

智能健身器材可为用户提供锻炼的实时跟踪。通过传感器连接，用户可以监控心率、运动能耗和运动强度等关键指标。这种即时反馈使个人能够就他们的健身计划做出明智的决定，优化他们的努力以获得更好的结果。智能健身设备的主要优势之一是它能够提供个性化的锻炼和训练计划。利用从用户个人资料、偏好和表现历史记录中收集的数据，智能健身设备可以根据个人需求定制锻炼程序。这种定制可确保用户收到符合其健身水平、目标和偏好的锻炼。智能健身器材通常结合游戏化元素，使锻炼更具吸引力和乐趣。虚拟挑战、奖励和交互式图形等功能将锻炼变成一种动态和有趣的体验。游戏化不仅可以提高动力，还可以通过使过程更加有趣和竞争来鼓励用户超越他们的健身目标。智能健身设备能够促进远程教练和虚拟课程，从而扩大了健身计划的覆盖范围。用户可以在家中舒适地与体能训练师联系或参加虚拟课程，从而获得专家指导。此功能对于寻求专业教练的个人或喜欢远程锻炼灵活性的人来说特别有价值。

7.2.3 智能健身器材的发展趋势

AI 的集成是智能健身设备的普遍趋势。AI 算法分析用户数据以提供智能识别，生成个性化的锻炼建议，并根据个人进度调整训练计划。这提高了健身程序的整体效率和效果，满足了用户的特定需求和能力。AR 和 VR 正在改变健身体验。智能健身设备通常结合 AR 和 VR 应用程序，以创建身临其境的锻炼环境、模拟真实世界的场景并

提供交互式训练课程。这些技术提升了用户的参与度，使锻炼更加有趣和动态。物联网（IoT）是智能健身设备发展的关键要素。设备无缝连接到互联网，允许用户远程访问和控制他们的健身设备。物联网集成可实现设备之间的数据共享，从而更全面地了解用户的健康和健身指标，最终提升整体用户体验。生物反馈和生物识别监测是智能健身设备的新兴趋势，为用户提供有关其生理反应的实时信息。配备生物识别传感器的设备可以监测心率变异性、肌肉活动和氧气水平等参数。这些数据使用户能够优化他们的锻炼，防止过度训练，并更深入地了解他们的身体对运动的反应。

7.2.4 智能健身器材的挑战和问题

随着智能健身设备收集和处理敏感的健康数据，隐私和数据安全问题成为人们关注的焦点。用户可能会担心个人信息可能会被滥用，因此强调需要强大的安全措施和透明的数据政策。制造商必须解决这些问题，以在用户之间建立信任，并确保负责任地处理他们的数据。健身技术的快速发展引发了关于可访问性和包容性的问题。并非每个人都能平等地获得高科技健身解决方案，这可能会在健身领域造成差异。制造商和开发商应考虑设计出满足不同用户需求的产品，同时考虑到不同的健身水平、身体能力和社会经济因素。与传统的健身工具相比，智能健身器材的价格通常更高。对于一些消费者来说，进入技术驱动的健身领域的成本可能是一个障碍。在技术创新和可负担性之间取得平衡对于确保更广泛的人群能够接触到健身技术的这些进步至关重要，从而促进其使用的广泛性和包容性。

7.2.5 智能健身器材发展展望

随着智能健身技术的不断发展，智能健身技术的未来蕴含着令人兴奋的可能性。预期的发展包括用于个性化健身计划的更复杂的人工智能驱动算法、增强的实时生物反馈能力以及与新兴技术的无缝集成。科学家预测了一个无缝互连的健身生态系统，可以适应个人需求，

同时提供更加身临其境和引人入胜的体验。随着技术的进步，智能健身设备器材可能会见证几项突破性的创新。这可能包括结合先进的生物识别传感器、更身临其境的 AR 和 VR 应用程序，以及与可穿戴设备的进一步集成，以实现整体健康跟踪体验。材料和设计的创新也可能带来更紧凑、多功能和美观的健身器材。智能健身器材将在塑造运动和锻炼的未来方面发挥关键作用。凭借提供高度个性化和数据驱动的锻炼体验的能力，这些技术有望为提高整体运动表现做出重大贡献。此外，智能健身解决方案提供的可访问性和便利性可能会导致个人健身方式的转变，从而培养一个更加紧密联系和高参与度的专注于健康的全球社区。

7.3 运动健康管理系统

7.3.1 研发运动健康管理系统，实现健康状态精准管理

随着人们健康意识的增强和科技水平的不断发展，国内运动健康管理系统正逐渐成为该领域的关注焦点。运动健康管理系统可使用计算机技术全面高效地监测、评估、分析个人的健康状况，并通过智能算法为个人提供合适的运动方案，进而通过运动的方式实现对个人高效健康管理的系统。这类系统通过集成传感器、移动应用、云计算等技术，为用户提供个性化的运动指导、健康监测和数据分析服务。

运动健康管理系统的发展历程从最初的概念化起步，经历了数字化、信息化的转型，随后移动化和应用化使得健康管理变得触手可及。随着技术进步，系统进一步集成化和平台化，为用户提供了全面的解决方案。运动健康管理系统的发展进入了人工智能与大数据阶段，已经开始广泛应用人工智能和大数据技术，能够提供更为精准和个性化的健康管理服务，机器学习算法的应用使得系统能够从大量数据中发现模式和趋势，提供智能化的健康建议和预测^[1]。系统由用户层、物联网层、云层、系统分析层、评估层和数据层组成^[2]。通过人工智能和机器学习技术，使得系统能够提供个性化建议和精准服务。目前，

运动健康管理正朝着生态化、互联化发展，同时注重个性化和精准化服务，构建起跨设备的生态系统。未来，随着法规和伦理标准的完善，运动健康管理系统将继续发展为更加智能、主动和全面的健康管理工具，以预测性和预防性健康管理为核心，为用户提供高效、安全的服务^[3]。

国外运动健康管理系统的发展趋势集中在可穿戴技术的广泛应用、工作场所健康促进的重视、老年人健身计划的关注、数字化与个性化服务的推进、跨学科研究与合作的加强、主动健康管理的实践、循证医学的应用、健康管理 APP 市场的崛起、国际合作与标准化的推动，以及健康促进型保险的发展。这些趋势表明，运动健康管理正朝着集成高科技、个性化服务、科学证据支持和全球合作的方向发展，以满足用户对全面健康管理不断增长的需求，并提升健康意识和生活质量。

运动健康管理系统在快速发展的同时，面临诸多挑战。首先是数据隐私和安全问题，需要确保用户健康数据的安全存储和合规使用；其次是技术准确性问题，监测设备和技术的精确性直接关系到服务的可靠性。此外，提高用户对系统的信任和持续使用意愿至关重要，因此用户接受度和依从性也是关键。提供真正符合用户个性化需求的健康管理方案，解决不同设备和应用间的数据整合和兼容性问题，以及普及运动健康管理概念、提高公众对智能系统价值的认识，都是亟待解决的问题。运动健康管理系统在提供健康监测和促进健康生活方式的过程中，还面临设备兼容性和标准化、成本控制、技术依赖、跨学科整合、国际标准化法规遵循、技术迭代更新以及健康促进型保险整合等挑战。这些问题需要通过行业自律、技术创新、法规完善、市场教育和跨领域合作来共同解决，以确保运动健康管理体系的可持续发展和用户利益的最大化。解决这些问题推动运动健康管理系统进一步发展的关键^[4]。

运动健康管理系统的未来发展规划将注重加强数据安全与隐私保护，提升技术准确性，增强用户参与度，提供个性化服务，推动标准化与兼容性，普及市场教育，控制成本以扩大服务覆盖，减少对技术的过度依赖，实现跨学科整合，适应国际标准化同时考虑本地化需求，持续进行技术更新迭代，并与健康保险服务整合，以构建一个全面、智能、安全且用户友好的健康管理生态系统，满足全球用户的健康需求，同时获得政策支持，确保可持续发展。

7.3.2 完善运动健康管理系统的功能，实现多元化、个性化管理

运动健康管理系统是一种高度集成化的技术解决方案，它结合了可穿戴设备、移动应用、云服务和大数据分析等多种现代科技，为用户提供全面的健康和运动管理服务。这种系统的核心功能包括数据收集与监测，它通过智能手表、心率带、计步器等可穿戴设备实时追踪用户的生理指标，如心率、血压、睡眠质量和活动量等，为用户提供了全面的健康数据支持。

在个性化运动计划方面，运动健康管理系统能够根据用户的个人健康状况、体质和运动目标，定制个性化的运动方案。这些方案不仅包括运动类型、频率和强度的建议，还可能包含运动过程中的正确姿势和呼吸技巧，确保用户能够安全有效地达到运动效果。健康评估与分析是运动健康管理系统的一大特色。系统通过分析用户的健康数据，评估其当前的健康状况，并提供改善建议。这有助于用户及时了解自己的身体状况，调整生活习惯，预防疾病的发生。远程医疗咨询功能则为用户提供了便捷的医疗服务。用户可以通过视频或在线聊天的方式，与医生或健康顾问进行交流，获取专业的健康指导和建议。这一功能尤其适用于行动不便或居住在偏远地区的用户，使他们能够享受到高质量的医疗服务。营养建议模块为用户提供了科学的饮食指导。根据用户的身体状况和运动计划，系统能够提供合适的饮食建议，

帮助用户均衡营养摄入，支持健康生活方式。

对于专业运动员训练监控和比赛状态管理是专业运动员健康管理系统的两个主要应用场景。训练监控通过智能穿戴设备，实时采集运动员的运动数据和生理指标，并结合大数据分析和机器学习技术，提供科学的训练建议和调整方案。帮助教练和运动员优化训练计划，防止过度训练和运动伤害。例如，顶级运动队已经广泛采用这类设备，通过实时数据反馈优化训练强度和方法，提升运动表现^[5]。在比赛状态管理中，系统通过实时数据传输和分析，监测运动员在比赛期间的心率、疲劳程度、速度等关键指标，提供即时的状态反馈和调整建议，确保运动员在比赛中保持最佳状态。通过结合数据分析和智能决策技术，可以显著提高运动员的比赛表现和恢复速度。运动健康管理系统还可通过提供管理、融资、服务和资源生成等基本功能来改善运动员的健康和表现^[6]。

社区互动与支持功能则通过建立线上社区，鼓励用户分享自己的运动和健康经验，相互鼓励和支持。这种社交元素不仅能够增强用户的运动动力，还能够帮助他们建立起积极的社交网络。游戏化元素的加入，使得运动健康管理系统更加吸引人。通过设定挑战、奖励机制等，系统能够激发用户的参与热情，使运动变得更加有趣和具有吸引力。智能提醒与跟踪功能确保用户能够按照计划进行运动。系统能够根据用户的日程安排，智能提醒用户进行运动，并跟踪运动进度，帮助用户养成良好的运动习惯。数据同步与共享功能则允许用户的运动健康数据在不同设备间同步，使用户能够随时随地查看和管理自己的健康信息。紧急响应服务为用户提供了额外的安全保障。在用户遇到健康紧急情况时，系统能够自动发送求助信息，确保用户能够及时获得帮助。

综上，运动健康管理系统通过整合多种技术和服务，为用户提供了一个全面、便捷、个性化的健康和运动管理平台。它不仅能够帮助

用户提高运动效率，还能够促进用户养成健康的生活习惯，提高整体的生活质量。随着科技的不断进步，运动健康管理系統正变得越来越智能，能够更好地满足用户的个性化需求，成为现代生活中不可或缺的健康管理工具。

7.4 本章小结

智能体育训练装备和健身器材正在向小型化和高集成化发展，同时具备更强大的传感和数据分析能力。人工智能和物联网技术将进一步优化个性化训练指导和健康管理方案，设备能够实时监测用户的生理数据，动态调整训练计划，提升训练效果和安全性。虚拟现实和增强现实将为用户提供沉浸式的互动训练体验，增强训练的趣味性和效果。通过云平台和大数据分析，设备将实现跨设备互联，形成完整的健康管理生态系统。同时，行业面临的数据隐私、安全性和标准化问题正在逐步得到解决，推动智能体育设备在全球范围内的普及与应用，助力运动科学和健康管理的全面升级。

第7章参考文献

- [1] Huang J, Wu X, Huang W, et al. Internet of things in health management systems: A review. International Journal of Communication Systems, 2021, 34(4): e4683.[期刊]
- [2] Dang J. Optimization of the Intelligent Sports Health Management System Based on Big Data Technology and Internet of Things. Journal of Function Spaces, 2022, 2022(1): 5053150.[期刊]
- [3] 国务院. 国发〔2015〕40号, 国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见. [报告]
- [4] 伍悦. 健康运动管理系统智能终端的设计与实现. 武汉:武汉工程大学, 2019.[学位论文]
- [5] 陈思彤. 科技为竞技体育插上翅膀. 中国体育报, 2021-07-28(05).

[报纸]

- [6] Drew MK, Toohey LA, Smith M, et al. Health systems in high-performance sport: key functions to protect health and optimize performance in elite athletes. *Sports Medicine*, 2023, 53(8): 1479-1489.[期刊]