

# 基于知识图谱的运动强度评估算法研究<sup>\*</sup>

赵南冰<sup>1</sup> 宋文爱<sup>1</sup> 雷毅<sup>2</sup> 王青<sup>3</sup> 杨顺民<sup>1</sup>

(1. 中北大学软件学院 太原 030051; 2. 北京工业大学信息学部软件学院 北京 100124;

3. 清华大学自动化系 北京 100084)

**摘要:**在运动中确定与掌握运动强度十分重要,适宜的运动强度能有效提高身体机能;强度过大会使身体机能衰退,甚至危及生命安全。针对传统运动强度评估方法评估指标少、精度低的问题,提出了一种基于知识图谱的运动强度评估方法。首先,通过 BERT-CRF 提取运动强度评估指征,在 Neo4j 数据库中建立了运动强度评估的知识图谱;其次,在 RecGNNs 知识推理的基础上,实现了针对不同年龄群体运动强度的个性化精准评估;最后,构建了运动强度评估系统。实验结果表明,基于知识图谱的运动强度评估系统运行稳定、可靠,个性化评估的准确率可达到 85.7%。

**关键词:**运动强度;知识图谱;评估指征;知识推理;个性化评估

**中图分类号:** TP311 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.20

## Exercise intensity assessment algorithms based on knowledge graph

Zhao Nanbing<sup>1</sup> Song Wenai<sup>1</sup> Lei Yi<sup>2</sup> Wang Qing<sup>3</sup> Yang Shunmin<sup>1</sup>

(1. School of Software Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. School of Software

Engineering, Faculty of Information Technology Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

3. Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** It is very important to determine and master the exercise intensity in exercise. Appropriate exercise intensity can effectively improve the body function. Too much intensity can make the body function decline, and even damage the health. Aiming at the problems of few assessment indicators and low accuracy of traditional exercise intensity assessment methods, this paper proposed an exercise intensity assessment method based on knowledge graph. Firstly, the indications of exercise intensity assessment were extracted by BERT-CRF, and the knowledge graph of exercise intensity assessment was established in the Neo4j database. Secondly, on the basis of RecGNNs knowledge reasoning, personalized and accurate assessment of exercise in-tensity for different age groups was realized. The exercise intensity assessment system based on this method can display the user's exercise data index and personalized exercise intensity assessment results. Finally, the exercise intensity assessment system was constructed. The experimental results show that the exercise intensity assessment system based on knowledge graph was stable and reliable, and the accuracy of personalized assessment can reach 85.7%.

**Keywords:** exercise intensity; knowledge graph; indication of assessment; knowledge reasoning; individualized assessment

## 0 引言

运动强度是体育锻炼和运动训练中的一项重要指标,指的是在一定时间(单位)的运动量。研究表明,适度的身

体活动可降低多种疾病发病率<sup>[1]</sup>,在预防精神疾病和缓解情绪问题上也有着积极作用<sup>[2]</sup>。但运动强度超过身体的承受能力,反会降低运动效果,甚至损害身体健康<sup>[3]</sup>。如何把握、控制自己的运动强度,是现在许多健身者需要解

收稿日期:2023-02-02

<sup>\*</sup> 基金项目:国家重点研发计划(2020YFC2006702,2020YFC2005503)、北京市朝阳区协同创新项目(CYXC2010)资助

决的实际问题之一。传统的运动强度评估技术存在依赖经验、器械等缺陷,因此本文提出基于知识图谱的运动强度评估方法,在综合考虑个体多方因素的基础上,利用现有的方案指南构建运动强度评估知识图谱,并运用知识推理搭建系统,利用数据之间的内在联系和知识修正,基于不同形式和运动效果对用户进行评估,使评估结果更加精准个性化,以更好地帮助用户选择自己的适合运动强度。

## 1 运动强度评估相关工作

传统的运动强度评估技术主要从物理、生理及主观感觉3个方面来评价运动强度<sup>[4]</sup>。

物理检测技术是运用速度、距离、时间、次数等物理参数描述人体外在承受的运动量,通过跑台和功率自行车与运动指标间的高相关性<sup>[5]</sup>评估运动强度,以及基于加速度传感器<sup>[6]</sup>为自行车运动强度的科学监测提供参考等,是应用最早、最简单和最广泛的一种标准。该方法的缺点是测量和评价结果大多依赖平时的生活经验。

生理检测技术是运用耗氧量、心率、脉搏、血压等生理参数来描述人体所负担的运动强度,如基于心电图(electrocardiogram, ECG)<sup>[7]</sup>、遥测心率<sup>[8]</sup>及心音(phonocardiogram, PCG)<sup>[9]</sup>追踪运动员的运动状态。优点是科学性高、测量结果可靠,缺点是测量时要使用各种检测器械,在日常中较难普及。

主观感觉强度(rating of perceived exertion, RPE)是指运用人体的主观感觉对运动强度的大小进行测量和评价,研究表明,心理负荷量与心率、血压、乳酸含量等等生理参数之间有高度的相关性。RPE量表<sup>[10]</sup>可以将人体的生理机能变化反映在人体运动过程中的心理负荷量大小上,利用SessionRPE方法<sup>[11]</sup>也可有效监控运动员的运动强度与负荷。RPE的优点是简单易用,但缺点和物理负荷强度法相似,需要依赖人的主观经验。

在大数据时代,深度学习、机器学习等技术在数据预测和决策制定上具有一定优势,成为了运动管理的重要辅助手段,深度学习、机器学习等技术在运动领域的应用多为运动管理,如应用数据挖掘技术,综合生活方式、营养状况、作息规律等,为公务员提供智能化、个性化、科学的运动处方<sup>[12]</sup>;基于云计算的聚类算法完成各项信息数据的统计与处理设计了运动训练管理系统,提升训练系统的数据处理性能<sup>[13]</sup>;利用智能物联网传感器、摄像头、算法和系统的结合,进行计算机视觉、语音处理、统计分析,收集动作数据进行决策<sup>[14]</sup>;应用数据挖掘方法建立多层次模型,从大规模数据中预测体育活动行为,确定体育活动行为的相关因素<sup>[15]</sup>;构建运动恢复期自主神经恢复缓慢ECG和正常恢复ECG数据集,结合后向选择算法与K-最近邻(K-nearest neighbor, KNN)、朴素贝叶斯(naive Bayes, NB)、支持向量机(support vector machine, SVM)分类器,建立运动风险预警系统<sup>[16]</sup>等,这些方案是基于已

有数据库为用户提供运动方案及辅助管理。

传统运动强度评估技术也借助机器学习技术进一步深入。如采用支持向量机、极限学习机等机器学习方法评估运动前后心音<sup>[17]</sup>;在研究高血压预警模型中利用高斯过程回归构建RPE转换模型以用于控制运动强度<sup>[18]</sup>;使用SVM算法建模运动强度与身体疲惫关系的研究<sup>[19]</sup>;用步频做判别指标,通过KNN算法、随机森林算法等机器学习来识别不同的篮球运动强度对心理健康的不同影响,以确保最合适的篮球运动强度给大学生的心理健康带来好的方面<sup>[20]</sup>;基于特征工程的和卷积神经网络对加速度计和陀螺仪采集的数据进行建模,对走、跑活动的能量消耗进行估算<sup>[21]</sup>;利用神卷积神经网络(CNN)提取运动员ECG和PCG信号特征构建预测模型,通过识别ECG和PCG信号判断运动员的运动强度<sup>[22]</sup>;采集经颅多普勒生理参数,使用不完全穷举的封装式特征选择算法选取特征参数,使用SVM分类算法训练样分类模型,判断使用者的运动状态<sup>[23]</sup>;使用时间卷积网络对自行车测力计运动的耗氧量进行预测,区分剧烈、中等和轻度活动,以监测运动处方的依从性和个人健康状况<sup>[24]</sup>;通过线性回归、随机森林、多项式回归等算法建立心率与运动设备功率的线性回归模型,给出个性化的目标心率,以确定运动强度<sup>[25]</sup>等。这些研究都是选择并深化一种运动强度评估方向,无法改变这些算法的固有缺陷。

从以上研究结果可以看出,机器学习、深度学习等研究方法在一定程度上实现了运动状态、运动强度和健康状况的评估,与之相比,知识图谱<sup>[26]</sup>具有更强大的数据描述能力,可以将更多指标以及个体因素纳入到评估参数中,对提高个性化运动强度评估的精度具有一定的优势。但目前体育领域中多为使用Citesapce等可视化软件研究发展现状及热点<sup>[27]</sup>,没有在运动强度评估方向的应用。

目前单一方面的运动强度评估方法存在各自的缺陷,传统运动强度检测大多只纳入部分指标进行评估,若能增加数据描述能力,就能弥补各方法的缺点。有强大数据描述能力的知识图谱虽能解决这一问题,但却尚未应用在运动评估领域。因此本文提出了基于知识图谱的运动强度评估方法,其技术流程如图1所示。

## 2 运动强度知识图谱

### 2.1 知识图谱构建流程

知识图谱可用于描述客观世界存在的实体概念及其相互关系,是一种基于图的数据结构,包含很多节点和边,每个节点都代表一个客观实体,而节点之间的边则表示实体之间的关系。知识图谱是最有效的关系表示方式之一,将不同类型的信息连接起来,形成一个关系网络,这种网络可以从关系的角度对知识实体单元进行分析和处理。

知识图谱根据其架构层建立的顺序,可分为自顶向下和自底向上两种构建方式。自顶向下的构建方式是指通过结构化数据源等高质量数据中提取本体和模式信息,并

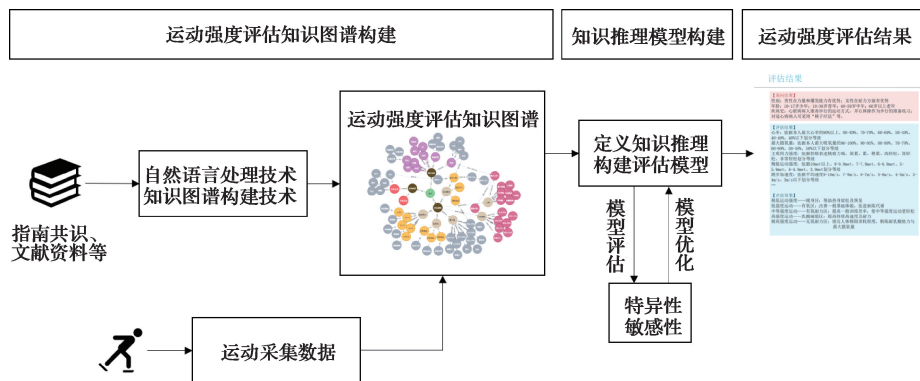


图1 基于知识图谱的运动强度评估方法技术流程

将其加入到知识库中。而自底向上的构建方式是利用技术手段从公开采集的数据中提取资源模式,并选取其中置信度较高的信息,经过人工审核后加入到知识库中。

概念模式与数据相互印证与完善,故本知识图谱结合

了自顶向下和自底向上的构建方式。先根据专家建议和指南凝练实体、属性及关系,构建模式层;当需要添加新知识时,采用自底向上的方法更新知识图谱。构建流程如图2所示。

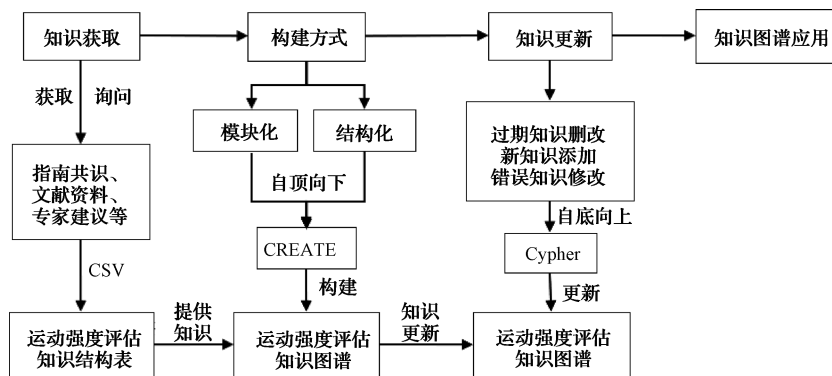


图2 运动强度评估知识图谱构建流程

## 2.2 运动强度评估知识获取

由于存在多方面因素的影响,对每个个体进行运动强度评估具有较大的复杂性;各种运动强度表述中又有不同的等级划分,使运动强度的实际分等级工作发生困难。参考指南共识、文献资料等专业知识和专家指导,本文将运动强度评估因素主要总结为如下5方面。

1)受评估个体的差异性,人体运动强度与人体体质息息相关,不同人群体质存在较大差异。体质的强弱直接决定了人的运动强度的大小<sup>[28]</sup>。

2)运动时间因素,人的运动强度受一天、一年中不同的运动时间影响。另一方面,运动情境的差异性也会影响运动强度的评估,同样的运动强度也可能有不同的运动效果<sup>[29]</sup>。

3)运动空间因素,空间因素主要包括运动时所处环境的综合情况,包括阳光、温度、湿度、空气含氧量等客观因素。

4)运动强度评估标准,目前针对非运动员运动强度评估无统一标准,尤其缺乏相关评估指标区间规范,同时对

于运动的类型也没有相关统一的规范与评估标准<sup>[30]</sup>。

5)其他因素,例如运动参数采集设备,设备的方便性、采集指标参数的准确性和实时性、被评估者当时心理因素以及是否自愿运动等。

## 2.3 运动强度评估知识预处理

本文运用BERT-CRF模型<sup>[31]</sup>的实体识别技术进行信息抽取和知识挖掘,来抽取运动类型、人体指征等实体和关系。

BERT-CRF模型结构如图3所示,分为BERT层和CRF层。BERT层是预训练语言模型,使用未标记数据集来训练模型,用于完成实体识别任务;CRF层是条件随机场,在实体识别的最后阶段实现解码的功能,防止非法标签序列,研究句子级别的序列特征进行标注。

BERT模型基于多层双向Transformer编码器实现,同时获取整个输入序列的特征,不依赖于时间序列,可以更好地提升特征提取水平。BERT的输入数据分别是字符向量、段向量和位置向量的加和。字符向量是模型中关于字符最主要的信息;段向量用于提供文本的全局语义信

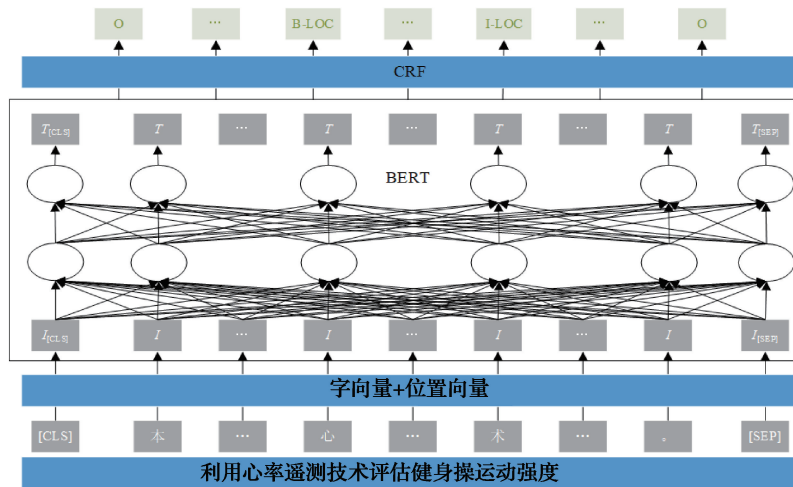


图3 BERT-CRF模型结构

息;位置向量可以向 Transformer 模型提供时序信息,反映不同位置的字符代表的语义差异。对于序列标注任务,BERT 模型利用文本中每个字符对应的输出向量对该字符进行标注。

CRF 是给定一部分序列的分布来预测另一部分序列分布的条件概率模型,最常用到的是线性条件随机场模型。线性随机场包含隐性马尔科夫模型的性质,并且在隐马尔科夫模型的基础上引入了两个特征函数  $s_l$  和  $t_k$ 。

1)  $s_l(y_i, x, i)$  表示所代表的序列当前的状态特征,只与当前状态有关,  $i$  代表当前处于哪个位置,  $x$  代表给定的序列。

2)  $t_k(y_{i-1}, y_i, x, i)$  代表当前时刻的转移特征,与之前时刻的状态有关,即从  $k-1$  时刻转移到  $k$  时刻的特征函数。线性条件随机场模型如下:

$$P(y | x) = \frac{1}{Z(x)} \exp\left(\sum_{i,k} \lambda_k t_k(y_{i-1}, y_i, x, i) + \sum_{i,l} \mu_l s_l(y_i, x, i)\right) \quad (1)$$

$$Z(X) = \sum_Y \exp\left(\sum_{i,k} \lambda_k t_k(Y_{i-1}, Y_i, X, i) + \sum_{i,l} \mu_l s_l(Y_i, X, i)\right) \quad (2)$$

式中: $Z(X)$ 为归一化函数; $t_k$ 为转移状态函数; $\lambda_k$ 为  $t_k$  权重; $s_l$ 为状态特征函数; $\mu_l$ 为  $s_l$  权重; $k$ 和  $l$ 表示转移状态函数和状态特征函数的个数。

3)通过上述的处理后,就可以得到所给定序列的预测目标序列。

对于从 BERT-CRF 模型获取到的实体和关系的三元组,本文在领域专家的帮助下设计构建概念体系,对其中有意义的概念类型、类型的属性以及类型之间关系构建数据模型,分类整合其中的指征,并对这些数据进行结构化处理。

## 2.4 运动强度评估知识导入

构建好的知识图谱需要存储到数据库中,才可以对后

续的应用进行数据支撑。现有研究中的大部分知识图谱都是基于图的数据结构,本文所使用的是 Neo4j 图形数据库。Neo4j 数据库为节点、节点属性、边以及边属性等设计了一种特殊的存储方案,可以有效解决开放数据共享、运动强度数据繁杂和知识获取等问题。Neo4j 存储的数据有节点和关系两类,故将知识数据概念部分划分为运动评估相关的实体属性以及运动评估相关的实体关系两部分。

运动评估实体,指的是在运动强度评估知识库中能够唯一标识的实体。具体包括但不限于受试者实体、指征实体、运动强度评估实体等。

运动评估关系,指的是运动评估实体间相互之间的关联。具体包括但不限于受试者—指征对应关系、指征—运动强度对应关系、推荐运动方案关系等。

将结构化数据转化为二维表传统类数据,建立受试者信息表(包括受试者的姓名、性别、年龄、身体指标等)和运动强度评估指征信息表(包括评估指征的名称、运动强度评估、运动效果评估等)。通过 Python 的 py2neo 库,读取所有受试者指标信息,逐个建立节点并存储各个属性,遍历所有指标节点,将当前指征与上一级指征相连,最终构成受试者实体框架。再读取运动强度评估指征信息,建立指征节点,对每一个指征节点遍历所有受试者信息节点,若这一受试者指标节点中存有该指征节点名称的属性值,则建立关系。最后将受试者实体和运动评估强度实体纳入知识图谱中,完成设计。

## 2.5 知识图谱数据展示

系统使用 Neo4j 数据库支持的属性映射来表示。首先从各类数据中抽取出的指征等实体作为结构图的节点;然后以三元组(实体—关系—实体或实体—关系—属性)的形式,将各类实体节点与属性相关联,确定各个节点间的关系。

Neo4j 使用的查询语言是 Cypher,语句结构类似于



SQL,且简洁直观,容易理解。例如要在运动强度知识图谱中查找运动强度评估指标,只需查询:“match n=(a:kuangjia)-[r:通用评估指标]->(c:pingguzhibiao) where a.name='评估指标' return n”。

查询结果如图4所示,包括与“评估指标”节点有“通用评估指标”关系的5个节点。

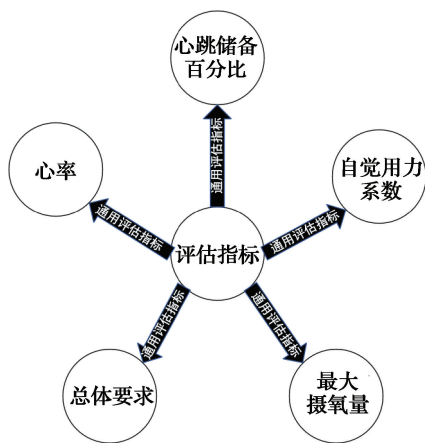


图4 Neo4j 查询样例

### 3 运动强度知识图谱推理模型

知识推理是根据知识图谱中实体和关系所蕴含的信息,利用相关算法推理出图谱中缺失的实体或关系。本质上是利用已经存在的知识推出未知或者新的知识,其核心是针对三元组中的实体和关系进行预测。

基于 RecGNNs 的知识推理<sup>[32]</sup>是用相邻节点信息来表示节点,通过不断地迭代传播邻接节点信息,来得到图谱中节点的最终表示。模型同时考虑知识图谱的语义信息和结构信息,具备更好的可解释性和更强的推理能力。运动强度评估知识图谱将收集受试者的基本信息和运动时的指征数据,根据标准定义将数据从连续的数值处理成“yes”、“no”、“low”、“normal”等离散变量间的逻辑关系,运动强度评估指标则按照数值分级为7个强度等级。

处理后的信息将会依次输入知识图谱中,指征与知识图谱中的实体对应,离散值与图谱中的关系对应,通过基于 RecGNNs 的知识推理,从知识图谱中的路径找到与该指征有对应关系的运动强度评估指征实体并关联记录,统合计算各个指征所设置的权值。知识图谱中建立了基于受试者体征、受试者生活习惯和受试者运动时的生理指标的运动强度评估指标(exercise intensity assessment, ELA)体系。运动强度因子的综合指标定义为:

$$ELA = \sum v_i \times w_i \quad i \in [1, m] \quad (3)$$

式中:  $v_i$  表示与因子原始值相对应的水平;  $w_i$  表示与因子相对应的权重。部分权重设置如图5所示。ELA越大,用户的运动强度越大。

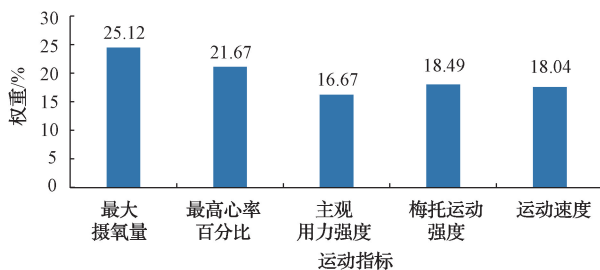


图5 权重设置示意图

## 4 实验结果及分析

### 4.1 评估流程

运动强度评估流程如图6所示。首先输入受试者的基本信息、生活习惯和各项指标数据,然后在受试者运动过程中采集心率、血压等生理数据,并以问答形式获取受试者的主观感受强度,这些特征信息都将通过数据预处理提取并转换为离散值输入知识图谱中。

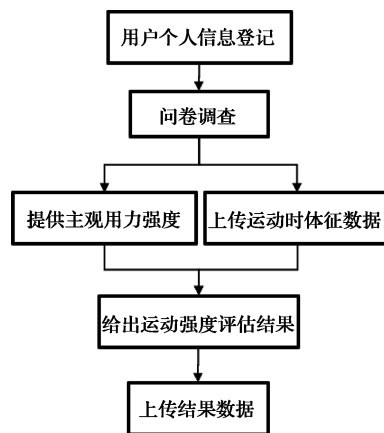


图6 运动强度评估流程

运动强度评估系统通过收集的基本信息、指征数据等确定适合的运动强度评估指标,然后系统接收基于运动强度评估的分词,将指征与知识图谱中的实体对应,离散值与图谱中的关系对应,匹配模板转换为密码语句,以 Neo4j 在知识图谱内部进行映射查询并进行推理,输出最相关实体与关系内容。

最后返回受试者的运动强度和运动效果,评估项如表1所示,从性别、年龄等方面展示受试者所在的群体及个人体征评价,给出心率、最大摄氧量、RPE等指标所在的等级区间,最后说明受试者进行的强度运动等级及运动效果。

### 4.2 评估结果分析

为了进一步验证本运动强度评估系统的可行性与可靠性,本文选择青年人群、中年人群、老年人群这三类人群,在跑台进行测试,采用三级递增负荷测试模拟低、中、高的运动强度,每级持续时间6 min,间歇时间3 min,受试

表1 运动强度评估项

评估项	评估内容
性别	男性在力量和爆发能力有优势;女性在耐力方面有优势
年龄	10~17岁少年;18~39岁青年;40~59岁中年;60岁以上老年
心率	最大心率的90%以上、80%~89%、70%~79%、60%~69%、50%~59%、40%~49%、40%以下
最大摄氧量	最大摄氧量的96%~100%、90%~95%、80%~89%、70%~79%、60%~69%、50%~59%、50%以下
主观用力强度	精疲力竭、很累、累、稍累、尚轻松、很轻松、非常轻松
梅脱运动强度	10met以上、8~9.9met、7~7.9met、6~6.9met、5~5.9met、4~4.9met、3.9met
跑步加速度	平均速度9~10 m/s、7~9 m/s、6~7 m/s、5~6 m/s、4~5 m/s、3~4 m/s、3 m/s以下
运动强度分级	极低强度——热身区:帮助热身放松及恢复 低强度——有氧区:改善一般基础体能,促进新陈代谢 中等强度——有氧耐力区:提高一般训练效率 高强度——乳酸阈值区:提高持续高速度及耐力 极高强度——无氧耐力区:锻炼耐乳酸能力与最大摄氧量

者需穿戴设备采集运动时的生理数据,每级测试结束后填写主观疲劳感觉量表获得PRE数据,数据最后上传至运动强度评估系统中,分析了各类人群使用本系统后的评估结果,结果如表2所示。

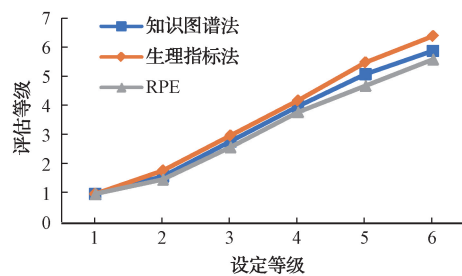
表2 不同人群不同运动强度下的评估结果

实验人群	运动强度	数据组数	评估结果			平均准确率/%
			低强度	中等强度	高强度	
青年	放松	20	20	0	0	90
	适度	20	1	18	1	
	全力	20	0	4	16	
中年	放松	20	20	0	0	88.3
	适度	20	1	15	4	
	全力	20	0	2	18	
老年	放松	10	9	1	0	65
	适度	10	1	4	5	

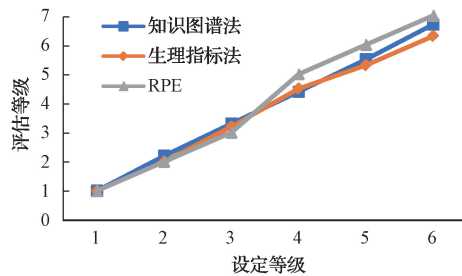
从表2可以看出,3类人群在不同运动强度下的评估结果与设定运动强度结果的对比。因为实验使用跑台设定速度模拟运动强度,实际为利用物理方法测定运动强

度,总体准确率达到85.7%的结果说明知识图谱评估和物理评估方法具有相关性,基于知识图谱的评估系统能够评估受试者的运动强度。其中的误差主要是基于对运动者身体情况的个性化评估产生的,当跑台速度一定时,由于青年人群处在发育阶段,所以即使是全力运动,也有4位实验对象的评估结果为中等强度;中年人群因生活习惯等影响,身体素质差异化更大,对运动的主观感知程度也更分散,因此适度运动时的运动强度评估结果较青年人群更为分散,且全力运动被评估为中等强度的人数也较青年人群少;老年人群由于身体机能下降,在放松运动时就有1人被评估为中等强度,而进行适度运动时也有半数人被评估为高强度运动。

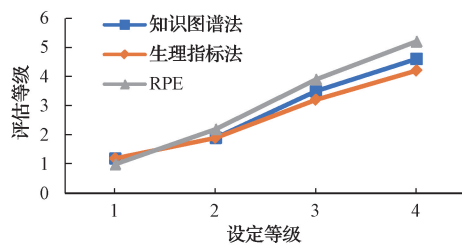
图7所示为知识图谱和单一指标运动强度评估的对比,横坐标为设定的运动强度等级,等级越高运动强度越大,纵坐标为各方法根据权重进行评估后的等级结果。



(a) 青年人群运动强度评估



(b) 中年人群运动强度评估



(c) 老年人群运动强度评估

图7 强度评估对比

总体来看,RPE评估法的结果有较大波动,知识图谱评估法评估的结果和相对准确的生理指标法的结果趋向非常接近,进一步说明了基于知识图谱的评估系统能够评估受试者的运动强度。

然而生理指标会受到年龄、运动能力、生理因素等的影响,RPE会受到本人经验和心情的影响,而知识图谱评

估法将各方法以及运动人群的素质也纳入评估因素内,避免单纯追求某一强度值的盲目,对运动的评估结果也更加个性化。

处在体质上升期的青年人群在进行运动时,即使生理指标上升,但主观感觉强度较低,知识图谱法评估结果处在二者之间,既不让运动者盲目提高强度,也不至于让强度等级太高增加运动压力。

中年人群体质尚未出现明显下降,且随着经验的累积,RPE值也趋于稳定,然而当运动强度提高时,生理指标的增长虽然放缓,但本人的感觉强度仍会增加,此时知识图谱法同样会综合各因素进行评估,在照顾本人感受的同时,不让运动强度的增长出现突变,督促运动者坚持运动。

老年人群体质已经下降,同等心率值下,老年人所负荷的运动强度会增大,因此当提高运动强度时,生理指标法的评估结果会低于主观感觉强度。知识图谱法综合考虑了两种方法的强度,且在评估老年人群时将年龄因素也纳入到评估内容中,确保评估的精准度和个性化。

## 5 结论

运动强度评估具有多种指标和影响因素,适合的运动强度能够增强运动者的体质,并在预防和治疗慢性疾病方面有着巨大作用。本文参考指南并与专家沟通,丰富和完善运动强度相关的指征、指标及其间的联系,借助 BERT-CRF 实体识别技术和 Neo4j 图数据库构建了运动强度知识图谱;利用基于 RecGNNs 的知识推理,从多种指征、不同路径评估受试者的运动强度;综合运动者本人的生理基础和运动时物理、生理及主观感觉 3 方面的指标,建立一套可靠的评价体系,能够更加个性化地描述运动强度等级,辅助受试者调整运动强度,制定科学的健身工作方案。

但受限于运动强度评估数据不足和运动强度分级模糊等问题,本文在知识图谱构建的精细程度和推理准确性等方面还有一定的提升空间。在未来的工作中,运动强度评估知识图谱可进一步扩大评估指标范围,增加运动强度评估路径知识,来丰富知识图谱的深度和广度,同时可利用更加高效的知识图谱推理算法,优化推理速度和推理精度。

## 参考文献

- [1] KYU H H, BACHMAN V F, ALEXANDER L T, et al. Physical activity and risk of breast cancer, colon cancer, diabetes, ischemic heart disease, and ischemic stroke events: Systematic review and dose-response meta-analysis for the Global Burden of Disease Study 2013 [J]. *BMJ*, 2016, 354: 3857.
- [2] CHAN J S Y, LIU G, LIANG D, et al. Special issue-Therapeutic benefits of physical activity for mood: A systematic review on the effects of exercise intensity, duration, and modality[J]. *The Journal of Psychology*, 2018, 153(1): 102-125.
- [3] AREM H, MOORE S C, PATEL A, et al. Leisure time physical activity and mortality: A detailed pooled analysis of the dose-response relationship[J]. *JAMA Internal Medicine*, 2015, 175(6): 959-967.
- [4] JANSSEN X, CLIFF D P, REILLY J J, et al. Correction: Predictive validity and classification accuracy of actigraph energy expenditure equations and cut-points in young children[J]. *Plos One*, 2013, 8(11): 79124.
- [5] 刘金雨,毛彬彬. Bland-Altman 评估跑台和功率自行车测试运动强度一致性的研究——以健美操运动员为例[C]. 第十二届全国体育科学大会, 2022: 567-568.
- [6] 赵月民,陈培友,刘晓翠. 基于加速度传感器的自行车运动强度评估研究[J]. *山东体育学院学报*, 2019, 35(5): 70-76.
- [7] 李志朋. 三线游泳运动员心电图追踪研究[J]. *当代体育科技*, 2021, 11(5): 19-22.
- [8] 何辉,熊开宇. 利用遥测心率技术评估自编民族健身操运动强度[C]. 第四届(2016)全国运动生理与生物化学学术会议, 2016: 353-354.
- [9] 胡昕. 基于 Android 平台的心音检测与运动强度评估系统[D]. 南京:南京邮电大学, 2016.
- [10] 陈彦龙,毛万丽,刘鸿优. 主观疲劳量表(RPE)评估足球运动员训练负荷的实证研究[J]. *体育科研*, 2019, 40(1): 57-63.
- [11] 张懿. SessionRPE 在赛艇三级负荷测试过程中评估运动强度与负荷的有效性分析[J]. *山东体育科技*, 2022, 44(4): 49-53.
- [12] 张崇林. 公务员体质健康促进智能化运动处方系统的研究与应用[D]. 上海:上海体育学院, 2012.
- [13] 樊云. 基于云计算的运动训练管理系统设计[J]. *电子设计工程*, 2022, 30(8): 128-132.
- [14] 李艳,李凌妹. 人工智能技术在运动训练中的应用研究[C]. 2022 年全国运动训练学术研讨会, 2022: 139.
- [15] FARRAHI V, NIEMELÄ M, KÄRMENIEMI M, et al. Correlates of physical activity behavior in adults: A data mining approach [J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2020, 17(1): 94.
- [16] 曾健. 运动生理指标和自主神经活动风险预警研究[D]. 重庆:西南大学, 2017.
- [17] 王梦璐. 基于心音特征结合 cTnI 检测的运动后心脏状态分析及识别[D]. 重庆:重庆大学, 2021.
- [18] 赵欢欢. 高血压风险早期预警及零负荷运动干预方法研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2021.
- [19] 李少聪,马德,李少琼. 运动损伤与运动强度的关系

- 建模仿真分析[J]. 现代电子技术, 2017, 40(24): 37-39.
- [20] ZHANG R. Impact analysis of basketball exercise strength based on machine learning in the mental health of college students [J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022 :9628446.
- [21] 王丕坤, 孙倩, 刘毅, 等. 基于特征工程和深度学习方法估算体力消耗的模型有效性研究[J]. 上海体育学院学报, 2022, 46(10): 52-64.
- [22] WANG B, ZHU H. The recognition method of athlete exercise intensity based on ECG and PCG[J]. Computational and Mathematical Methods in Medicine, 2022 :5741787.
- [23] 李俊达. 面向运动强度监测的经颅多普勒超声软件系统开发[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
- [24] AMELARD R, HEDGE E T, HUGHSON R L. Temporal convolutional networks predict dynamic oxygen uptake response from wearable sensors across exercise intensities [J]. NPJ Digital Medicine, 2021 , 4(1):156.
- [25] WU Y, MA Z, ZHAO H, et al. Achieve personalized exercise intensity through an intelligent system and cycling equipment: A machine learning approach. [J] Applied Sciences, 2020, 10(21): 7688.
- [26] COLLOBERT R, WESTON J, BOTTOU L, et al. Natural language processing (almost) from scratch[J]. Journal of Machine Learning Research, 2011, 12:2493-2537.
- [27] 艾安丽. 基于 Citespace 的大学生运动风险防范知识图谱分析[J]. 科技资讯, 2020, 18(27): 22-24.
- [28] 唐健, 李敏华. 运动强度生理负荷的检测及其应用[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(20): 3784-3788.
- [29] 武春英. 有氧运动强度监测指标特征分析与研究[J]. 广东石油化工学院学报, 2015(3): 2095-2562.
- [30] 李晓勇. 对运动强度的表达种类及其关联的研究[J]. 体育成人教育学报, 2010, 26(1): 38-41.
- [31] HU S, ZHANG H, HU X, et al. Chinese named entity recognition based on BERT-CRF model[C]. 2022 IEEE/ACIS 22nd International Conference on Computer and Information Science (ICIS), 2022: 105-108.
- [32] LI Y J, TARLOW D, BROCKSCHMIDT M, et al. Gated graph sequence neural networks[C]. CoRR, 2015.

#### 作者简介

赵南冰, 硕士研究生, 主要研究方向为大数据与人工智能。

E-mail: 544795726@qq.com