

团 体 标 准

T/ISC 0139—2026

基于 AI 视觉捕捉的儿童注意力缺陷多动障碍 (ADHD) 脑功能评估与数字疗法服务规范

Service Specification for Brain Function Assessment and Digital Therapy of
Attention- Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) in Children Based on AI
Vision Capture

(发布稿)

2026 - 09 - 08 发布

2026 - 10 - 08 实施

中 国 互 联 网 协 会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号和缩略语 2

5 总体要求 3

6 功能完备性技术要求 5

7 性能评估指标 9

8 智能体能力要求 10

9 训练方案智能生成要求 11

10 数据管理与隐私保护 14

附录 A 脑功能测评任务详细说明 15

参考文献 18

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国互联网协会归口。

本文件起草单位：山东爱优动教育体育科技有限公司、明点桥（北京）健康科技有限公司、星光互动（北京）文化传播有限公司、北京是名科技有限公司、国家体育总局体育科学研究所、山东爱优动体育健康服务有限公司、济南国际医学中心爱优动医院管理有限公司、中国民营文化产业商会、中国食文化研究会、中国国际文化艺术中心、海南省互联网协会、陕西省互联网协会、湖南省移动互联网协会、常德市互联网协会、大同市互联网协会、北京律师法学研究会、广东省互联网协会、张家口市科学技术协会、山东省教育科学研究院、潍坊市妇女儿童活动中心、北京上善扶贫公益促进中心、上海海事大学、延安大学、锦州医科大学、山东大学附属儿童医院、济南市泺源学校、东营市景苑学校、潍坊市聋哑学校、淄博市张店区特殊教育中心学校、中青未来（北京）网络科技有限公司、信永中和会计师事务所、北京东方华夏科技发展有限公司、本心堂（北京）文化控股有限公司、心宝（北京）数字科技有限公司、北京康康盛世信息技术有限公司、旷乐华玺（北京）文化科技有限公司、丰字中道（北京）养生文化有限公司、中国移动通信集团山东有限公司中移齐鲁创新院分公司、内蒙古康尔泰健康管理有限公司、张家口体文旅产业发展集团有限公司、山东卫视传媒有限公司、人人健康养老集团股份有限公司山东分公司、江苏童安智造科技有限公司、栖息地（海南）文化发展有限公司、元擎健康科技（威海）有限公司、青岛华林未来健康运动管理有限公司、东营瑞草野生灵芝开发有限公司、山东京芝生物科技有限公司、万有安和品牌文化发展（北京）有限公司、北京乾潮山河文化科技有限公司

本文件主要起草人：胡海霞、张彦峰、王福建、陈斌、王肖同、刘燕妮、陈潇潇、赵德强、张宇、王记康、王加猛、李玉清、刘宁、阎关彭、王庆森、谭双双、燕玉平、卞凯、孙琳、姚爱华、卓国文、李政洁、严海胜、郭宇宏、刘梦雅、李宁、夏岳红、曹玉中、王博生、王斌、郭珺、孙霞、董颖、管真真、余瀛波、沈仲亮、韩莉、王功凤、于丽娜、孙贝贝、宋国艳

基于 AI 视觉捕捉的儿童注意力缺陷多动障碍（ADHD 脑功能评估与数字疗法服务规范

1 范围

本文件规定了基于运动健康行业智能体的注意力缺陷多动障碍（ADHD）儿童脑功能智能测评与数字疗法服务在应用过程中涉及的技术能力要求，从功能完备性、性能评估指标、智能体能力（感知、规划、记忆、执行）、易用性、安全性等维度。

本文件遵循“测评—评估—干预”一体化闭环的总体技术路线，具体程序为：

a) 智能测评（测）：通过AI视觉捕捉技术与游戏化交互任务，采集儿童在计划、节律、协调、控制四项核心认知—运动任务中的高精度动作数据和生理信号；

b) 多维评估（评）：将采集数据输入AI评估模型，与中国儿童脑功能发育常模（N>5000）进行比对，量化输出四维度得分、综合脑功能指数（CBFI）及百分位排名，并依据常模算法自动识别个体的功能短板，明确后续AI干预的技术靶点；

c) 数字干预（练）：基于上述评估确定的脑功能薄弱靶点，系统从标准化方案库中智能匹配个性化神经认知训练任务，并通过AI实时动作纠错、动态难度调整（DDA）实现精准干预，训练数据反馈至评估模型，形成迭代优化。

本文件适用于ADHD儿童脑功能智能测评与数字干预服务的提供方评估自身技术能力，管理方对服务能力进行要求，以及第三方机构评估智能体系统的能力。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 35273-2020 信息安全技术 个人信息安全规范

GB 4943.1-2022 音视频、信息技术和通信技术设备 第1部分：安全要求

YD/T 4899-2024 面向数字医院的医疗设备管理平台技术要求

DSM-5 精神障碍诊断与统计手册（第5版）

ICD-11 国际疾病分类（第11次修订本）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

运动健康行业智能体 sports health industry agent

在通用智能体基础上，结合运动健康及儿童认知发展特点设计的智能体，能够自主完成ADHD儿童脑功能测评、评估、干预等任务的软硬件实体。

3.2

脑功能干预靶点 brain function intervention target

通过与中国儿童脑功能常模比对，识别出的个体在计划、节律、协调、控制维度上的显著薄弱环节（如Z-score<-1.5），以及与之强关联的运动学或认知加工特征（如反应时冗长、路径规划冗余度高），作为AI数字干预方案精准生成和动态调整的直接依据。

3.3

人体骨骼关键点检测算法 human skeleton keypoint detection algorithm

基于HRNet（高分辨率网络）和Transformer的深度学习模型，实时识别儿童身体33个关键点（COCO扩展集），输出每个关键点的三维空间坐标（x,y,z）及置信度。

3.4

时序动作特征提取 temporal action feature extraction

通过滑动窗口（窗口长度2s，步长0.5s）提取关键点序列的运动学特征，包括速度、加速度、关节角速度、角加速度、轨迹曲率、动作流畅度（jerk）、反应时、节奏周期等116维特征。

3.5

综合脑功能指数 comprehensive brain function index

采用多任务学习框架，将计划、节律、协调、控制四维度得分通过加权融合（权重系数基于主成分分析确定）计算的综合量化指标。计算公式：

$$CBFI = 0.25 \times S_{plan} + 0.25 \times S_{rhythm} + 0.25 \times S_{coord} + 0.25 \times S_{control}$$

各维度得分经Z-score标准化后融合，常模均值为50，标准差为10。

3.6

动态难度调整算法 dynamic difficulty adjustment algorithm

基于强化学习（PPO算法）实时评估儿童训练表现（成功率、反应时、规范度），自动调节下一轮任务的难度参数（速度、复杂度、干扰度），使训练始终处于“挑战—技能平衡”区。

3.7

测评练一体化闭环服务 integrated assessment-evaluation-training closed-loop service

将智能测评（测）、多维评估（评）、数字干预（练）三个环节有机结合，形成“测评—评估—干预—复测”闭环，实现精准评估与持续优化的服务模式。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

ADHD	注意缺陷多动障碍（Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder）
AI	人工智能（Artificial Intelligence）
CBFI	综合脑功能指数（Comprehensive Brain Function Index）
CNN	卷积神经网络（Convolutional Neural Network）
DDA	动态难度调整（Dynamic Difficulty Adjustment）
DTW	动态时间规整（Dynamic Time Warping）
EWMA	指数加权移动平均（Exponentially Weighted Moving Average）
GPU	图形处理器（Graphics Processing Unit）
HMM	隐马尔可夫模型（Hidden Markov Model）

HRNet	高分辨率网络 (High-Resolution Network)
PCA	主成分分析 (Principal Component Analysis)
PPO	近端策略优化 (Proximal Policy Optimization)
RMSE	均方根误差 (Root Mean Square Error)
SHAP	Shapley加法解释 (SHapley Additive exPlanations)
TCN	时序卷积网络 (Temporal Convolutional Network)
XGBoost	极端梯度提升 (eXtreme Gradient Boosting)

5 总体要求

5.1 服务模式

基于运动健康行业智能体的ADHD儿童脑功能智能测评与数字干预服务应支持“智能测评（测）—多维评估（评）—数字干预（练）”一体化闭环。通过规范智能体的感知、规划、记忆、执行四大基础能力，实现从高精度动作捕捉、多维度评估分析到个性化神经认知训练的全流程自动化。

- a) 智能测评：通过AI视觉捕捉技术采集儿童在游戏化任务中的动作表现数据；
- b) 评估分析：AI模型自动分析数据，生成多维度评估报告；
- c) 数字干预：AI自动匹配个性化数字干预方案，实时纠错指导。

5.2 技术架构

系统应采用端—边—云协同架构：

端侧：高清摄像头、AI算力机采集原始视频流，完成实时骨骼关键点检测。

边侧：本地GPU运行动作分割、特征提取、实时纠错等低延迟任务（单帧推理 $\leq 30\text{ms}$ ）。

云侧：存储常模数据、训练方案库，进行模型迭代训练、群体数据分析。

5.3 闭环机制与技术靶点

系统应实现以常模为基准、AI靶点识别为驱动的闭环：

测：通过游戏化任务采集儿童动作数据，经HRNet+Transformer提取33个关键点时序特征。

评：采用XGBoost回归器预测四维度得分，与中国儿童常模（ $N>5000$ ）对比，输出CBFI及基于SHAP的短板归因，并自动标注需要优先干预的脑功能靶点。

练：基于DDA算法围绕已识别的干预靶点生成个性化训练方案，AI实时动作比对纠错，记录训练效果并迭代优化靶点定位与方案匹配。

AI视觉捕捉与本标准各功能模块的协同工作机制如下：

a) 视频流输入与关键点检测（对应6.1.1）：RGB摄像头以 $\geq 60\text{fps}$ 采集儿童动作视频，AI视觉模型（HRNet+Transformer）逐帧输出33个骨骼关键点的三维坐标（ x, y, z ）及置信度。置信度低于0.85时，系统自动触发局部重采样（光流法插值），确保后续特征提取的输入质量。该模块的输出结果直接作为6.1.2动作分割和6.1.3特征提取的数据源。

b) 动作分割与任务事件绑定（对应6.1.2）：AI视觉模型同步检测任务场景中的关键事件（如投币落入方盒、乒乓球撞击目标区域、球弹起至最高点），将骨骼关键点序列与任务事件在时间轴上精确对齐。对齐后的时序数据输入6.1.3特征提取模块，计算116维运动学与任务表现特征。

c) 特征输入与AI评估（对应6.2.1~6.2.4）：上述特征经PCA降维至12个主成分，输入

XGBoost回归器预测四维度得分。AI视觉在整个评估环节中承担“数字化转换器”的角色——将儿童在物理空间中的肢体运动转化为可计算的数学特征，再与常模比对输出量化评估结果。

d) 评估结果驱动干预方案生成（对应6.3.2）：评估输出的短板靶点通过知识图谱自动映射至标准化训练方案库，生成个性化训练任务。训练过程中，AI视觉继续以相同机制实时采集动作数据（6.3.4实时纠错、9.1.4动态难度调整），形成“采集→评估→干预→再采集”的闭环数据流。

上述协同机制确保AI视觉从物理动作捕捉到数字评估输出的全链路贯通，每一项算法指标均有对应功能模块承接，每一项功能输出均有视觉数据作为输入支撑。

5.4 服务边界与安全警示

5.4.1 非诊断声明

系统明确为脑功能筛查评估与辅助训练工具，不替代医师诊断。在服务界面启动页、评估报告页眉（每页顶部）及用户服务协议中，须以醒目方式强制包含以下提示语：

“本结果为筛查参考，不作为临床诊断依据，疑似高风险须转介医疗机构。”

5.4.2 转介指引

系统应根据风险分级（见6.2.3）自动生成转介建议：

高风险（CBFI<常模均值-1.5SD）：自动出具《医疗机构转介建议函》，提示监护人携儿童至儿童精神科/发育行为儿科进一步评估；

中风险：建议数字干预，同时提示“若症状持续或加重，请及时就医”；

低风险：纳入正常发育监测范围。

系统不得出具或暗示任何疾病诊断结论，不得替代医师处方。

5.5 ADHD 脑功能评估方法体系

5.5.1 评估框架概述

本系统基于“认知-运动耦合”理论，通过计划（Planning）、节律（Rhythm）、协调（Coordination）、控制（Control）四个维度评估ADHD儿童脑功能状态。该四维度框架源于执行功能理论（Diamond, 2013），各维度与ADHD核心症状的对应关系为：

计划维度对应ADHD的“组织/规划能力缺陷”——评估儿童在面对多步骤任务时的目标分解、路径规划与策略选择能力；

节律维度对应ADHD的“时间感知与节奏调控缺陷”——评估儿童对周期性动作的节奏保持与时间预测能力；

协调维度对应ADHD的“多任务协同与身体感知缺陷”——评估儿童在执行行进间任务时的上下肢协同与动态平衡能力；

控制维度对应ADHD的“冲动抑制与动作调节缺陷”——评估儿童在目标导向动作中的力度控制、姿态保持与动作精准度。

5.5.2 AI 视觉在各评估环节中的工作机理

AI视觉捕捉技术在四个维度的评估中各司其职，具体工作机理如下：

a) 计划维度（测评任务：投硬币/插钉子）：AI视觉追踪手部关键点（指尖、腕关节）的空间轨迹，计算

从取物到投放的路径长度比（实际路径/最短路径）和轨迹曲率。路径规划冗余度高、手部轨迹呈反复试探状，反映儿童在目标分解与动作排序方面的困难。

b) 节律维度（测评任务：撞球/接球）：AI视觉检测球体运动事件（发射时刻、碰撞时刻、弹起最高点）

与儿童肢体动作（推球/接球动作起始帧），计算两者之间的时间差作为反应时，并分析连续多次动作的周期变异系数。节律稳定性差、反应时波动大反映儿童时间感知与节奏调控障碍。

c) 协调维度（测评任务：运送物品）：AI视觉同时追踪上肢（持棒手手腕、肘关节）与下肢（髌、膝、

踝）共12个关键点的运动轨迹，计算上肢摆动幅度与下肢步态的相位差。相位差波动大反映上下肢协同障碍，球掉落前的躯干晃动幅度反映本体感觉异常。

d) 控制维度（测评任务：投掷目标/展臂平衡）：AI视觉计算投掷出手瞬间腕关节角速度和肘关节伸展角

度，并与标准模板比对。角速度失控反映力度调节障碍，肘关节角度偏差反映动作计划与执行之间的脱节。展臂平衡任务中，AI视觉追踪肩、肘、腕的抖动频率（jerk），评估姿态保持过程中的微调控能力。

5.5.3 从视觉特征到评估得分的量化路径

各维度测评中提取的视觉特征（轨迹、角度、时间、相位等）经以下路径量化为0~100分：

步骤1：特征提取——按6.1.3要求提取116维运动学与任务表现特征；

步骤2：特征降维——按6.2.1要求经PCA压缩至12个主成分；

步骤3：得分预测——按6.2.2要求经XGBoost回归器输出各维度初始得分；

步骤4：常模标准化——按6.2.3要求与中国儿童脑功能常模比对，输出标准化Z-score和百分位排名。

最终输出：各维度得分（0~100分，常模均值 50 ± 10 ）、CBFI综合指数、风险分级及干预靶点。

6 功能完备性技术要求

6.1 智能测评（测）功能

6.1.1 人体骨骼关键点检测

系统应支持不少于33个人体骨骼关键点的实时检测，关键点包括：头部（1）、躯干（4）、上肢（左/右肩、肘、腕 $\times 2=12$ ）、下肢（左/右髌、膝、踝 $\times 2=12$ ）、手部（4）等。

输出每个关键点的三维坐标（x, y, z）及置信度，帧率 $\geq 60\text{fps}$ 。

置信度低于0.85的关键点触发重采样或插值平滑。

6.1.2 动作分割与对齐

系统应能自动识别并分割游戏化任务的动作起止帧。

系统应支持将儿童动作序列与标准动作模板进行时间对齐，计算匹配距离。

6.1.3 动作分割与对齐

系统应从对齐后的动作序列中提取不低于116维特征，至少包括：

运动学特征：速度、加速度、角速度、角加速度（各关节）。

轨迹特征：轨迹长度比（实际路径/最短路径）、曲率、平滑度（jerk）。

时序特征：反应时（RT）、运动时间（MT）、节律周期、节奏稳定性（变异系数）。

关节角度特征：肘关节屈伸角度、膝关节角度、躯干前倾角等。

任务专用特征：投币成功率、插钉准确率、接球反应时间等。

6.1.4 动作分割与对齐

系统应支持：

时间同步：视频帧、任务事件戳、可穿戴传感器（心率带）的同步误差 $\leq 10\text{ms}$ 。

空间配准：儿童动作坐标与任务场景坐标系标定。

特征级融合：将动作特征与任务表现特征拼接形成综合特征向量。

6.2 多维评估（评）功能

6.2.1 特征降维

系统应对提取的高维动作特征进行降维处理，保留累计方差贡献率不低于85%的主要成分。

6.2.2 维度得分预测

系统应内置XGBoost回归器（100棵树，最大深度6）分别预测计划、节律、协调、控制四维度得分：
输入：12个主成分特征。

输出：各维度得分（0~100分）。

5折交叉验证 $R^2 \geq 0.85$ ，均方根误差（RMSE） ≤ 3.5 分。

6.2.3 常模比对与风险分级

系统应内置中国儿童脑功能常模（分年龄、性别，样本量 ≥ 5000 ）：

计算个体得分的Z-score和百分位数。

根据CBFI划分风险等级。

高风险：CBFI $<$ 常模均值 -1.5SD →建议专业医疗评估。

中风险：常模均值 $-1.5\text{SD} \leq \text{CBFI} <$ 常模均值 -0.5SD →建议数字干预。

低风险：CBFI $\geq$ 常模均值 -0.5SD →正常范围。

6.2.4 短板归因分析

系统应能识别对低分贡献最大的特征，输出可解释的短板成因（例如：“计划维度得分低，主要归因于迷宫任务中路径规划冗余度高，及桌面射门命中率低”）。

6.2.5 动态跟踪评估

系统应支持历史测试数据、训练前后复测数据的联动对比。

自动计算CBFI变化量及各维度得分变化趋势。

采用配对t检验（ $p < 0.05$ ）判定干预效果是否显著。

计算效应量（Cohen's d ）， $d \geq 0.5$ 判断为有效干预。

6.3 数字干预（练）功能

6.3.1 标准化训练方案库

系统应内置分维度、分年龄段、分难度等级的标准化数字干预方案库。

覆盖计划、节律、协调、控制四个维度。

每个维度设置3个难度等级（初级、中级、高级）。

每个训练项目配套标准动作示范视频、语音讲解、动作要点、常见错误说明。

方案库总量不少于200个标准化训练单元。

6.3.2 个性化方案生成

系统应基于评估结果自动生成个性化干预方案：

- a) 针对性：针对评估中识别的薄弱维度，通过知识图谱匹配确保任务与短板映射准确率100%；
- b) 渐进性：训练难度从易到难，步进阈值动态可调。
- c) 趣味性：训练内容采用游戏化包装（积分、勋章、角色成长），趣味性评分不低于4.5/5。
- d) 可量化：训练效果设置三级量化指标（单次：规范度、完成度；周期：进步率；终期：CBFI变化量），支持自动化进度追踪与可视化报告。

方案内容应明确：训练项目、训练频次（每周2~3次）、每次时长（20~30分钟）、难度等级、动作要点。

支持人工调整：教师/家长可对自动生成的方案进行自定义编辑。

6.3.3 动态难度调整（DDA）

系统应采用强化学习（PPO算法）实时调整训练难度：

状态空间：儿童当前成功率、平均反应时、动作规范度、连续正确次数。

动作空间：难度参数（速度、轨迹复杂度、干扰物数量、时间限制）。

奖励函数：鼓励正确完成（+1）、规范度高（+0.5）、难度提升后成功（+2）。

目标：使训练始终处于“挑战—技能平衡”区（成功率维持在70%~85%）。

6.3.4 AI 实时纠错

系统应具备训练动作的AI实时识别与纠错能力：

每帧计算余弦相似度与标准动作模板比对，相似度<0.85时触发纠错。

纠错方式：语音提示+动效标注+文字说明。

纠错内容：针对具体错误（如“手臂抬得太低”“膝盖弯曲过度”“节奏快了”）提供改进建议。
纠错延迟：从动作完成到给出反馈≤1.5秒。

记录错误类型及频次，用于后续训练方案优化。

6.3.5 训练效果跟踪

系统应自动记录全量训练数据：

每次训练：完成度、规范度评分、训练时长、消耗热量、纠错次数。

阶段性评估：每4周自动生成训练报告，包含各维度进步曲线。

周期总结：12周训练后强制复测，自动对比初筛与复筛数据，输出干预效果报告（含CBFI变化、效应量、后续建议）。

6.3.6 训练时长与视疲劳/心理应激防护

6.3.6.1 单次与单日时长上限

单次连续专注训练时长建议不超过20分钟，达到20分钟时系统须强制弹出休息提示并暂停任务，休息时长不少于5分钟；

单日累计训练总时长不超过40分钟（含多个训练单元）。

6.3.6.2 低龄儿童使用警示

对于6岁以下儿童：

每次屏幕任务时长不宜超过15分钟，每日不超过1次；

系统应在任务开始前弹出醒目提示：“本产品适用于辅助训练，低龄儿童使用须家长全程陪同，每次不超过15分钟，如出现揉眼、烦躁、疲劳请立即停止。”

6.3.6.3 疲劳与情绪监测

系统应通过心率变异、眼动注视时长、错误率突增等指标实时监测儿童疲劳度及情绪状态。若检测到以下任一情形，须自动触发强制休息或终止当日训练：

连续专注训练达20分钟且未休息；

心率持续超过年龄对应最大心率的85%且伴随动作规范度下降超过20%；

连续3次任务主动放弃或出现明显抗拒行为（由AI行为识别判定）。

系统不得以任何形式（包括积分惩罚）鼓励儿童超出上述时长或强度限制。

6.4 训练强度与频率规范

6.4.1 训练频率

系统根据年龄段和疲劳指数动态推荐频率，基础建议为每周2~3次，每次训练时长20~30min。智能调度模块可根据以下因素自动调整：

a) 若前次训练规范度不低于0.9且心率恢复时间小于2min，可增加频次至每周4次；

b) 若出现连续疲劳信号（心率持续大于160bpm或注意力下降），自动插入强制休息日。

6.4.2 训练强度

训练强度应根据儿童年龄和体能状况动态调整，由DDA引擎实时控制：

a) 3~6岁：以游戏化活动为主，最大心率控制在140bpm以下，任务失败时自动降低难度；

b) 7~10岁：增加任务难度和重复次数，心率允许达160bpm，注重动作规范性（规范度目标不低于0.85）；

c) 11~15岁：提升训练强度和复杂度，心率可达180bpm，注重策略运用（计划维度任务中加入限时挑战）。

6.4.3 训练周期

一个完整训练周期为12周，分为三个阶段：

基础适应期（第1-4周）：聚焦单一维度，低难度，高频次（每周3次）；

综合提升期（第5-8周）：多维度交替，中等难度，每周2—3次；

巩固突破期（第9-12周）：高难度挑战，结合复测反馈，动态调整。

结束后必须进行复测评估，若CBFI改善低于5%，系统自动触发方案升级（更换训练任务集或增加每周频次）。

6.5 家庭训练指导

系统应向家长提供以下智能化指导内容，并支持远程协同：

a) 训练任务的家庭延伸方法：基于当前训练项目，推荐日常活动中的等效练习（如“用筷子夹豆子”对应控制维度训练）；

b) 日常生活场景中的能力培养建议：根据儿童短板维度，推送情境化活动（如“逛超市时让孩子规划购物路线”对应计划维度）；

c) 训练打卡和进度查看功能：支持微信小程序/APP实时同步，家长可查看每日训练成就、进步曲线、教师评语；

d) 与康复师的在线沟通渠道：内置加密即时通讯模块，支持训练记录一键分享、视频问诊预约、异常行为预警通知。

7 性能评估指标

7.1 二分类任务（违规检测、动作有效性判断）

指标	公式	要求
灵敏度（Sen）	$TP / (TP + FN)$	$\geq 93\%$
特异度（Spe）	$TN / (TN + FP)$	$\geq 96\%$
准确率（Acc）	$(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$	$\geq 95\%$

TP：真阳性，FN：假阴性，TN：真阴性，FP：假阳性。

7.2 回归任务（维度得分预测）

指标	计算公式	要求
均方根误差（RMSE）	$\sqrt{[\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / n]}$	≤ 3.5 分（满分100）
平均绝对误差（MAE）	$\sum y_i - \hat{y}_i / n$	≤ 2.8 分
决定系数（R ² ）	$1 - \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / \sum (y_i - \bar{y})^2$	≥ 0.85

7.3 分类任务（风险等级划分）

指标	计算公式	要求
宏精准率（Macro-P）	$(1/C) \times \sum (TP_c / (TP_c + FP_c))$	≥ 0.85
宏召回率（Macro-R）	$(1/C) \times \sum (TP_c / (TP_c + FN_c))$	≥ 0.83
宏F1值（Macro-F1）	$2 \times (P \times R) / (P + R)$	≥ 0.84

7.4 干预效果指标

指标	计算公式	要求
CBFI有效改善率	$(CBFI_{后} - CBFI_{前}) / CBFI_{前} \times 100\%$	$\geq 70\%$ （改善 $\geq 5\%$ ）
效应量（Cohen's d）	$(M_{后} - M_{前}) / SD_{池化}$	≥ 0.5
复测稳定性（ICC）	$\sigma^2_{间} / (\sigma^2_{间} + \sigma^2_{内})$	≥ 0.85
CBFI有效改善率	$(CBFI_{后} - CBFI_{前}) / CBFI_{前} \times 100\%$	$\geq 70\%$ （改善 $\geq 5\%$ ）

7.5 干预效果指标

指标	测量/计算方法	要求
单帧关键点检测延迟	从图像采集完成到关键点坐标输出耗时	$\leq 30ms$ (GPU)
端到端测评完成到报告生成	从最后一项测评完成到评估报告呈现耗时	$\leq 5s$
实时纠错反馈延迟	从动作完成到纠错提示呈现耗时	$\leq 1.5s$
DDA难度调整响应	从表现指标计算完成到下一轮难度参数生效耗时	$\leq 100ms$

8 智能体能力要求

本章规定了支撑第6章各项功能实现的智能体底层能力要求。其中：感知能力（8.1）为6.1智能测评提供视觉与多模态数据采集基础；规划能力（8.2）为6.3数字干预的任务调度与动态调整提供决策支持；记忆能力（8.3）为6.2多维评估的常模比对和历史跟踪提供数据持久化支撑；执行能力（8.4）为6.3中的实时纠错、训练引导等提供动作执行保障。

8.1 感知能力

8.1.1 视觉感知

应支持RGB视频流实时解析，在2001x~50001x光照范围内稳定工作。

应支持人体骨骼关键点检测，准确率PCKh@0.2 $\geq$ 92%。

应支持动作事件检测（如投币成功、接球命中、跳格落地），识别准确率 $\geq$ 98%。

8.1.2 时序感知

应支持时间表达式识别（绝对时间、相对时间如“第3轮”）。

应支持时序逻辑验证（如“接球动作必须在球弹起后发生”）。

8.1.3 多模态融合感知

应支持视频+心率数据融合，用于评估运动负荷与注意力状态关联。

应支持语音指令识别，理解儿童的口头回应（如“准备好了”）。

8.2 规划能力

8.2.1 任务拆解

应将“完成一次完整测评训练闭环”拆解为子任务：设备校准→任务引导→数据采集→特征提取→得分计算→方案匹配→训练执行→效果记录→复测安排。

支持人机协同拆解：允许教师/家长调整子任务优先级（如跳过某个训练单元）。

8.2.2 规划策略

应支持线性规划（按顺序执行测评任务）、条件规划（根据评估结果选择训练方案）、并行规划（同时记录多维度特征）。

规划策略有效率：核心步骤占比 $\geq$ 90%。

8.2.3 动态重规划

当儿童出现疲劳、不配合或设备异常时，应能动态调整剩余任务顺序或降低难度。

冲突解决：如多任务争抢计算资源，应优先保障实时纠错任务。

8.3 记忆能力

8.3.1 短期记忆

应支持多轮对话历史记忆（至少20轮），在测评引导过程中保持上下文一致性。

应支持当前任务状态记忆（已完成任务、当前进度、待完成任务），断电后可恢复。

8.3.2 长期记忆

知识库：持久化存储中国儿童脑功能常模、标准化训练方案库、动作标准模板库。

患者档案：存储儿童历次测评数据、训练记录、评估报告，支持全生命周期追溯。

个性化画像：基于历史数据生成儿童能力发展曲线和偏好模型。

支持知识库更新：通过管理员接口新增/修改训练方案或常模数据。

8.3.3 快速检索

从知识库检索匹配训练方案的平均时间 $\leq 200\text{ms}$ 。

支持元数据检索（按年龄、维度、难度筛选）。

8.4 执行能力

8.4.1 虚拟环境执行

应能主动引导儿童完成测评任务（语音提示、动画示范）。

应能调用外部工具：播放视频、生成报告、发送通知给家长端。

应支持与云端平台对接：上传匿名化测评数据用于常模更新。

8.4.2 操作显式化

在执行任何方案修改或数据写入操作前，应向教师/家长明确提示操作内容及影响，并等待确认。最终决策权由人类（教师、家长、医生）掌握。

8.4.3 执行容错

任务执行失败（如摄像头遮挡）时，应自动重试3次，仍失败则提示人工干预。

应记录故障日志，支持回退到上一个稳定状态。

8.4.4 任务执行准确率

单步骤执行准确率： $\geq 98\%$ （正确完成规划中的单个操作）。

端到端任务完成率： $\geq 95\%$ （从测评开始到报告生成无人工干预）。

9 训练方案智能生成要求

9.1 运动处方生成逻辑模型

系统应构建以“常模比较→靶点识别→任务映射→方案序列优化”为核心的生成模型。基于多源数据融合的运动处方生成逻辑模型，该模型以评估结果（短板维度、得分、百分位）、儿童个体特征（年龄、性别、基础能力）、历史训练表现（完成度、规范度、进步率）为输入，输出个性化的阶梯式训练方案。

模型架构包括以下核心模块：

9.1.1 短板—任务映射模块

采用知识图谱（Neo4j图数据库）存储“脑功能维度→训练任务→难度等级→预期改善指标”的映射关系。

针对评估识别的薄弱维度（如计划维度 $Z\text{-score} < -1$ ），通过图遍历算法（广度优先搜索）匹配对应的训练任务集，确保任务与短板靶向匹配度100%。

9.1.2 难度初始分配模块

基于协同过滤+冷启动策略，根据儿童年龄、性别、基线得分，从标准化训练方案库（200+单元）中选取初始难度等级。

规则： $Z\text{-score} < -1.5 \rightarrow$ 初级； $-1.5 \leq Z\text{-score} < -0.5 \rightarrow$ 中级； $\geq -0.5 \rightarrow$ 高级。

9.1.3 序列优化模块

采用强化学习（PPO算法）对训练任务序列进行顺序优化，目标函数为最大化短期进步率+最小化疲劳度。

状态空间：当前已完成任务、各维度剩余能量、儿童实时心率、专注度（由眼动数据估计）。

动作空间：选择下一个训练任务、调整休息间隔、切换难度。

奖励函数：任务完成得分（规范度 $\times 0.6$ +成功率 $\times 0.4$ ）-疲劳惩罚（心率超过阈值时 -0.5 ）。

9.1.4 动态难度调整（DDA）引擎

每轮训练中，实时计算表现指标：成功率（ p ）、平均反应时（ rt ）、动作规范度（ s ）。

使用指数加权移动平均（EWMA）平滑表现曲线：

$$pt = a \cdot pt(1_x) + (1-a) \cdot PL_1, a=0.3$$

难度调整规则：

若连续3次成功率 $>85\%$ →难度提升一级（速度+10%/复杂度增加）。

若连续3次成功率 $<60\%$ →难度降低一级。

若规范度 <0.7 →触发纠错强化模式（增加示范次数，不调整难度）。

9.1.5 周期化方案生成

生成12周渐进式训练计划，分为三个阶段：

基础适应期（第1-4周）：聚焦单一维度，低难度，高频次（每周3次）。

综合提升期（第5-8周）：多维度交替，中等难度，每周2—3次。

巩固突破期（第9-12周）：高难度挑战，结合复测反馈，动态调整。

每周方案自动生成训练日历，标注具体任务、时长、休息安排。

9.2 训练方案生成原则

训练方案应根据评估结果自动生成，遵循以下原则：

- 针对性：针对评估中识别的薄弱维度，通过知识图谱匹配确保任务与短板映射准确率100%；
- 渐进性：基于强化学习序列优化，训练难度从易到难，步进阈值动态可调；
- 趣味性：训练内容采用游戏化包装（积分、勋章、角色成长），通过用户黏性模型预测参与度，趣味性评分 $\geq 4.5/5$ ；
- 可量化：训练效果设置三级量化指标（单次：规范度、完成度；周期：进步率；终期：CBFI变化量），支持自动化进度追踪与可视化报告。

9.3 训练任务体系

训练任务体系应与测评任务对应，形成“测评—训练”一体化设计，任务难度采用三级阶梯（初级、中级、高级），每级差异通过参数化配置实现（如速度、复杂度、干扰度、时间限制）。

目标维度	训练任务示例	训练目标	难度分级	参数化调整维度
计划维度	插钉子、投硬币	1. 锻炼手指抓握、投放精细动作，强化双手分工与专注力；2. 提升指尖精准对位、力度控制，增强连续操作稳定性	3级	1. 硬币/钉子数量；2. 物品摆放间距；3. 容器/钉板位置；4. 桌面高度；5. 单次取物规则；
节律维度	撞球、接球	1. 训练滚动球体轨迹预判与快速反应；2. 提升双手协同控物、移动瞄准能力；3. 纠正代偿动作，强化肢体控制	3级	撞球：1. 推球速度/方向；2. 木块尺寸；接球：1. 抛球距离/速度；2. 两线间距球；3. 收纳筐口径；
协调维度	运送物品	1. 提升行进间动态平衡与本体感；2. 强化上肢持物控制、上下肢协同；3. 培养专注力与路线遵守意识；	3级	运送物品：1. 行走线路长度；2. 球体重量/大小；3. 拖棒粗细；4. 规定行走步数；
控制维度	投掷目标、展臂平衡	1. 锻炼核心与肩臂控制力，提升静态平衡能力；2. 强化单侧肢体负重下的姿态保持能力；3. 提升专注力与身体姿态调节能力	3级	投掷目标：1. 投掷距离；2. 目标圆板高度/大小；3. 用球重量；展臂平衡：1. 沙包重量/尺寸；2. 站立区域面积；3. 单次计时上限；4. 手臂摆放姿势；

9.4 训练强度与频率规范

9.4.1 训练频率

系统根据年龄段和疲劳指数动态推荐频率，基础建议为每周2~3次，每次训练时长20~30min。智能调度模块可根据以下因素自动调整：

- 若前次训练规范度 ≥ 0.9 且心率恢复时间 $< 2\text{min}$ ，可增加频次至每周4次。
- 若出现连续疲劳信号（心率持续 $> 160\text{bpm}$ 或注意力下降），自动插入强制休息日。

9.4.2 训练强度

- a) 3~6岁：以游戏化活动为主，最大心率控制在140bpm以下，任务失败时自动降低难度；
- b) 7~10岁：增加任务难度和重复次数，心率允许达160bpm，注重动作规范性（规范度目标 ≥ 0.85 ）；
- c) 11~15岁：提升训练强度和复杂度，心率可达180bpm，注重策略运用（计划维度任务中加入限时挑战）。

9.4.3 训练周期

一个完整训练周期为12周，分为三个阶段（见9.1.5）。结束后必须进行复测评估，若CBFI改善 $< 5\%$ ，系统自动触发方案升级（更换训练任务集或增加每周频次）。

9.5 训练效果评估

9.5.1 过程评估（微观）

系统应记录每次训练的以下数据：任务完成度（%）、动作规范度（0-1）、成功率（%）、平均反应时（ms）、心率曲线、疲劳指数。

实时生成单次训练报告，包含雷达图对比各维度表现与目标值。

9.5.2 阶段性评估（中观）

每4周进行一次阶段性评估，采用重复测量方差分析(RM-ANOVA)检验各维度进步是否显著($p < 0.05$)。

若某维度进步率 $<3\%$ ，系统自动调用备选训练方案（从知识图谱中切换同维度不同任务）。

9.5.3 周期总结评估（宏观）

训练周期结束后进行复测，对比初筛与复筛数据：

计算CBFI绝对变化量和相对改善率。

采用配对t检验（ $p<0.05$ ）判断干预有效性，Cohen's $d\geq 0.5$ 判定为中等以上效果。

生成干预效果报告，包含各维度变化趋势图、百分位提升、后续建议（继续/修改/结束）。

9.6 家庭训练指导

系统应向家长提供以下智能化指导内容，并支持远程协同：

a) 训练任务的家庭延伸方法：基于当前训练项目，推荐日常活动中的等效练习（如“用筷子夹豆子”对应控制维度训练）；

b) 日常生活场景中的能力培养建议：根据儿童短板维度，推送情境化活动（如“逛超市时让孩子规划购物路线”对应计划维度）；

c) 训练打卡和进度查看功能：支持微信小程序/APP实时同步，家长可查看每日训练成就、进步曲线、教师评语；

d) 与康复师的在线沟通渠道：内置加密即时通讯模块，支持训练记录一键分享、视频问诊预约、异常行为预警通知。

10 数据管理与隐私保护

10.1 数据采集范围

系统采集的数据包括：

a) 儿童基本信息（姓名、性别、出生日期）；

b) 测评过程中的视频图像和动作轨迹数据；

c) 测评任务表现数据（得分、完成时间等）；

d) 训练过程记录和效果数据。

10.2 数据存储要求

a) 本地存储：原始视频数据应在设备本地存储，不得自动上传云端；

b) 加密存储：存储的数据应采用AES-256或同等强度的加密算法；

c) 存储期限：个人数据存储期限不超过服务终止后1年，到期应进行匿名化处理或删除。

10.3 数据传输安全

涉及远程传输的数据（如评估报告、匿名化统计数据）应采用HTTPS加密协议传输。

10.4 数据采集范围

系统应符合GB/T35273-2020《信息安全技术个人信息安全规范》的相关规定：

a) 明确告知用户数据收集的目的、方式和范围；

b) 获得监护人明确的同意授权；

c) 提供数据查询、更正、删除的渠道；

附录 A

脑功能测评任务详细说明

A.1 计划维度任务

A.1.1 投硬币（3~6岁）

任务描述：儿童将硬币投入蓝色方盒的投币口。

设备要求：硬币（直径2cm，共12枚）、蓝色方盒（投币口尺寸2.5cm×0.5cm）、防滑桌垫、AI视觉采集系统。

配件摆放：桌垫平铺于桌面，蓝色方盒放置于桌垫上，投币口朝向儿童。3~4岁儿童使用6枚硬币，5~6岁儿童使用12枚硬币。

采集指标：投币成功率（%）、完成时间（秒）、手指力度控制评分。

评分逻辑：惯用手和非惯用手的最短用时。

难度分级：

简单：用时久，频繁出现违规动作，单手操控不熟练

中等：用时适中，动作规范，基本无违规，操作节奏平稳

复杂：用时短，动作流畅连贯，手部控制精准，全程无违规

A.1.2 插钉子（7~10岁）

任务描述：儿童将钉子插入钉板上的孔中。

设备要求：钉子（直径0.5cm，共12枚）、钉板（12孔，孔径0.6cm）、方盒、防滑桌垫、AI视觉采集系统。

配件摆放：桌垫平铺于桌面，钉板放置于惯用手一侧，方盒放置于非惯用手一侧，钉子放置于方盒内。

采集指标：插钉准确率（%）、完成时间（秒）、手部稳定性评分。

评分逻辑：惯用手和非惯用手的最短用时。

难度分级：

简单：用时久，频繁出现违规动作，单手操控不熟练

中等：用时适中，动作规范，基本无违规，操作节奏平稳

复杂：用时短，动作流畅连贯，手部控制精准，全程无违规

A.2 节律维度任务

A.2.1 撞球（3~10岁）

任务描述：儿童需用木块将球推射入目标区域，需规划击球力度和方向。

设备要求：桌面（120cm×60cm）、乒乓球、木块（10cm×5cm×3cm）、目标区域（直径15cm圆盘）、AI视觉采集系统。

配件摆放：球放置于起始线后，木块放置于惯用手侧，目标区域置于桌面远端。

采集指标：命中率（%）、偏离距离（cm）、尝试次数。

评分逻辑：两次的成功撞球数。

难度分级：

简单：测试成功0 - 3次，预判不足，很难撞击到乒乓球

中等：测试成功4 - 7次，可判断球路，偶尔失误

复杂：测试成功8 - 10次，反应快、瞄准精准，撞击成功率高

A.2.2 接球（3~10岁）

任务描述：教师向地上扔球，弹起一次后儿童用小筐接住。

设备要求：网球（直径6.5cm）、小筐（直径20cm）、AI视觉采集系统。

配件摆放：儿童和教师相距3m站立，地面标记投掷点。

采集指标：接球成功率（%）、反应时间（ms）、动作协调性评分。

评分逻辑：两次的成功接球数。

难度分级：

简单：正式测试成功0 - 3次，球路判断差，接球失误较多

中等：正式测试成功4 - 7次，能判断基本轨迹，偶有接空

复杂：正式测试成功8 - 10次，预判准确、动作协调，接球稳定

A.3 协调维度任务

A.3.1 运送物品（3~10岁）

任务描述：儿童站立，单手握紧竖直拖棒，将球置于棒顶。沿直线向前行走10步，全程禁止手扶球、身体借力辅助、双脚偏离标线，球掉落即终止测试
设备要求：拖棒1根，直径约2cm，充气高尔夫球1个，直径约15cm，有色胶带。

配件摆放：选用长≥6m、宽2m的空旷场地，远离障碍物；地面用胶带粘贴一条6米长直线

采集指标：每次测试合规完成的步数、耗时

评分逻辑：取两次测试中最大有效步数、最高步数对应的时长

难度分级：

简单：有效步数0 - 3步，行进晃动明显，球易掉落、常偏离标线

中等：有效步数4 - 7步，姿态较稳定，偶有晃动，基本沿线路行走

复杂：有效步数8 - 10步，全程平稳无违规，可完整走完规定步数

A.4 控制维度任务

A.4.1 投掷目标（3~10岁）

任务描述：儿童站在标线后方，单手持网球，直接投掷击打墙面圆板，球落地反弹后击中目标视为无效；投掷时双脚越过标线同样判定失败。

设备要求：红色塑料圆板1个（直径20cm）、网球1个

配件摆放：距墙面2.5米处，粘贴一条长1米、与墙面平行的标线，将塑料圆板固定在墙面，圆板底端离地1.7米

采集指标：按次序记录每一轮投掷、抓取结果，成功记1，失败记0，记录项：2次练习、10次正式测试的投掷、抓取数据。

评分逻辑：统计10次测试中投掷和接住的成功次数

难度分级：

简单：正式测试成功0 - 3次，投掷偏差大，难以命中目标

中等：正式测试成功4 - 7次，方向、力度把控一般，存在少量失误

复杂：正式测试成功8 - 10次，投掷精准，动作稳定，命中率高

A. 4. 2 展臂平衡（3~10岁）

任务描述：儿童站立，单臂屈肘侧抬，手肘放置沙包；计时至沙包掉落，上限30秒。可自选手臂测试顺序，左右臂各测2次。

设备要求：沙包1个

配件摆放：空旷场地，儿童立于60cm×60cm区域内，确保展臂不触碰外物。

采集指标：左手最长用时、右手最长用时

评分逻辑：左手、右手分别取两次测试最长时长

难度分级：

简单：单臂坚持0 - 10秒，身体晃动剧烈，沙包快速掉落

中等：单臂坚持11 - 20秒，小幅晃动，姿态基本保持稳定

复杂：单臂坚持21 - 30秒，身体平稳，可坚持至时间上限

A. 5 常模样本ADHD亚型分布说明

中国儿童脑功能常模（N>5000）中，经临床诊断明确分型的ADHD儿童样本分布如下（供第三方验证及亚型分析参考）：

ADHD亚型	样本量（例）	占比（%）	年龄范围（岁）	性别比（男：女）
注意缺陷为主型（ADHD-I）	约1200	约40%	6 - 12	1.8:1
多动冲动为主型（ADHD-HI）	约600	约20%	6 - 10	3.2:1
混合型（ADHD-C）	约1200	约40%	6 - 12	2.5:1

各亚型在计划、节律、协调、控制四个维度的基线得分均值及标准差（按年龄分层）可向标准归口单位申请获取详细数据表。常模更新时需同步报告各亚型样本量变化及代表性说明。

参 考 文 献

- [1] 中国注意缺陷多动障碍防治指南（第二版）
 - [2] 国家学生体质健康标准（2014 年修订）
 - [3] DSM-5, 美国精神医学学会
 - [4] ICD-11, 世界卫生组织
 - [5] Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168.
 - [6] 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室。中国儿童脑智发育常模研究报告
-