

团 体 标 准

T/ISC 0082—2025

人体能量代谢监测平台技术要求

Technical requirements for human energy metabolism monitoring platform

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利与支持性文件一并附上。

（发布稿）

2025-09-18

2025 - 09 - 18 发布

2025 - 10 - 18 实施

中国 互 联 网 协 会 发 布

目 次

前 言	III
人体能量代谢监测平台技术要求	1
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	3
5 数字代谢舱平台架构	4
5.1 平台架构总体设计	4
6 数字代谢舱总体要求	4
6.1 基础信息采集	4
6.2 生理指标动态监测	4
6.3 代谢指标动态监测	5
6.4 数据安全与信息保护	5
6.5 平台兼容性	5
6.6 性能指标	5
6.7 平台可靠性	5
6.8 平台易用性	6
6.9 平台稳定性	6
6.10 平台可维护性	6
6.11 平台可移植性	6
7 技术规格和性能指标要求	7
7.1 代谢平台性能要求	7
7.2 代谢测量系统要求	7
7.3 配备规范（穿戴设备，硬件设备等）	7
7.4 生理指标系统要求	8
7.5 体形态及体成分系统参数要求	11
7.6 语音交互及行为识别系统要求	11
8 质量控制措施要求	12
8.1 月度质控检测要求	12
8.2 常规气体校准要求	12
8.3 其他质控要求	13
9 刺激系统要求	13
9.1 温度刺激要求	13
9.2 低氧刺激要求	13
附 录 A （资料性） 人体能量代谢舱核心评价指标	14
A.1 平台性能指标	14

A. 2 代谢测量指标	14
A. 3 生理测量指标	14
A. 4 质量控制	15
A. 5 刺激系统	15
参 考 文 献	16

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提出并归口。

本文件起草单位：上海交通大学医学院附属瑞金医院、上海市内分泌代谢病研究所、中国信息通信研究院、北京大学第三医院、北京协和医院、中国医学科学院阜外医院、阜外华中心血管病医院、首都医科大学宣武医院、懂医（上海）科技有限公司、工业互联网创新中心（上海）有限公司、中电信翼康科技有限公司、中国移动通信集团有限公司、北京金山云网络技术有限公司

本文件主要起草人：王卫庆、潘诗佳、宁光、包日强、朱雅姝、胡益祥、毕宇芳、张翼飞、王计秋、何倩、张卓然、相识、刘泊宁、任九选、贾斐、朱浩杰、吴亚新、王秀玲、代永超、方金武、王道洋、胡建颖、牛宝童、黄蹇、刘明慧、刘金鑫、陈卓霞、顾洪飞、彭德华、张胤俊、曲鹏

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——无

人体能量代谢监测平台技术要求

1 范围

本文件适用于人体能量代谢监测平台，规定了人体能量代谢监测平台的功能要求、性能要求、安全要求、数据质量要求及质量控制措施。本文件适用于该类平台的规划、设计、开发、数据采集、分析、管理、测试与运维。平台集成来自固定式代谢舱及配套可穿戴设备的数据。本文件涵盖了平台在单一机构内部署以及在严格授权和数据保护协议下，安全共享脱敏数据用于合作研究的场景。本文件研究制定了人体能量代谢监测平台技术要求，包括：数字代谢舱总体要求、技术规格和性能指标要求、质量控制措施要求和刺激系统要求四部分。

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 19489-2008 实验室 生物安全通用要求

GB/T 36344-2018 信息技术 数据质量评价指标

GB/T 37864-2019 生物样本库质量和能力通用要求

WS/T 313-2019 医务人员手卫生规范

ISO 8601: 2019 日期和时间. 信息交换用表示法 (Date and time — Representations for information interchange)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

受试者 subject

指符合标准化流程的，进行代谢监测的人员。

3.2

代谢数据 metabolic data

指由人体代谢舱检测所产生的一系列时序数据，包括但不限于能量代谢、呼吸商、糖氧化速率、脂氧化速率等。

3.3

代谢率 metabolic rate

指人体在一定时间内消耗的能量，通常以千卡每分钟（kcal/min）表示。在文档中，代谢率是关键的测量指标之一，用于评估人体的能量消耗水平。

3.4

生理数据 physiological data

指由其他各设备所采集的动态生理数据，包括但不限于心率、血氧、呼吸率、血压、血糖、核心体温等。

3.5

体形态 body morphology

指受试者身体的外部形态特征，包括但不限于身高、颈围、腰围、臀围、小腿围等。

3.6

体成分 body composition

指受试者体内各类物质的组成，包括但不限于体重、水分、脂肪、肌肉、蛋白质、矿物质等。

3.7

基线数据 baseline data

指用来描述受试者的信息，包括但不限于年龄、性别、研究课题、饮水量、进食量等。

3.8

丙烷燃烧试验 propane combustion test

指通过燃烧丙烷气体来评估能量代谢舱的特性和性能的一种实验方法。

3.9

入舱 enter the chamber

指受试者按照标准流程进入能量代谢舱，意味着本次人体能量代谢测量开始。

3.10

出舱 exit the chamber

指受试者按照标准流程离开能量代谢舱，意味着本次人体能量代谢测量结束。

3.11

呼吸商 respiratory quotient

指人体在一定时间内呼出的二氧化碳量与吸入的氧气量的比值。呼吸商有助于了解人体能量代谢过程中底物的利用情况，不同底物（如碳水化合物、脂肪和蛋白质）的呼吸商不同，因此可以反映人体的代谢状态。

3.12

时间标识 time stamp

指代谢监测平台里的数据或事件上附加的一段能够唯一、准确表明其发生或生成时间的信息，采用北京时间 YYYY-MM-DD' T' HH:mm:ss+08:00 表示。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

Behavior:不同的活动场景

BehaviorNum:按照连续时间段划分的活动场景数量

COR_TIME:是否可通过算法校准时间延迟

CV_DUP:重复率的变异系数

CV_LOSS:丢失率的变异系数

CV_ERROR:错误率的变异系数

f:采集频率

h:采集时长

MEAN_DUP:重复率 P_DUP 的均值

MEAN_LOSS:丢失率 P_LOSS 的均值

MEAN_ERROR:错误率 P_ERROR 的均值

MEAN_CV:平均变异系数

mean:数据的均值

N:理论采集数据量

N_DUP:重复数据的数量

N_NA:丢失数据的数量

N_OUTLIER:异常值的数量

n:实际采集数据量

P_DUP:重复率

P_ERROR:错误率

P_LOSS:丢失率

SD_DUP:重复率 P_DUP 的标准差

SD_ERROR:错误率 P_ERROR 的标准差

SD_LOSS:丢失率 P_LOSS 的标准差

sd:数据的标准差

se:数据的标准误

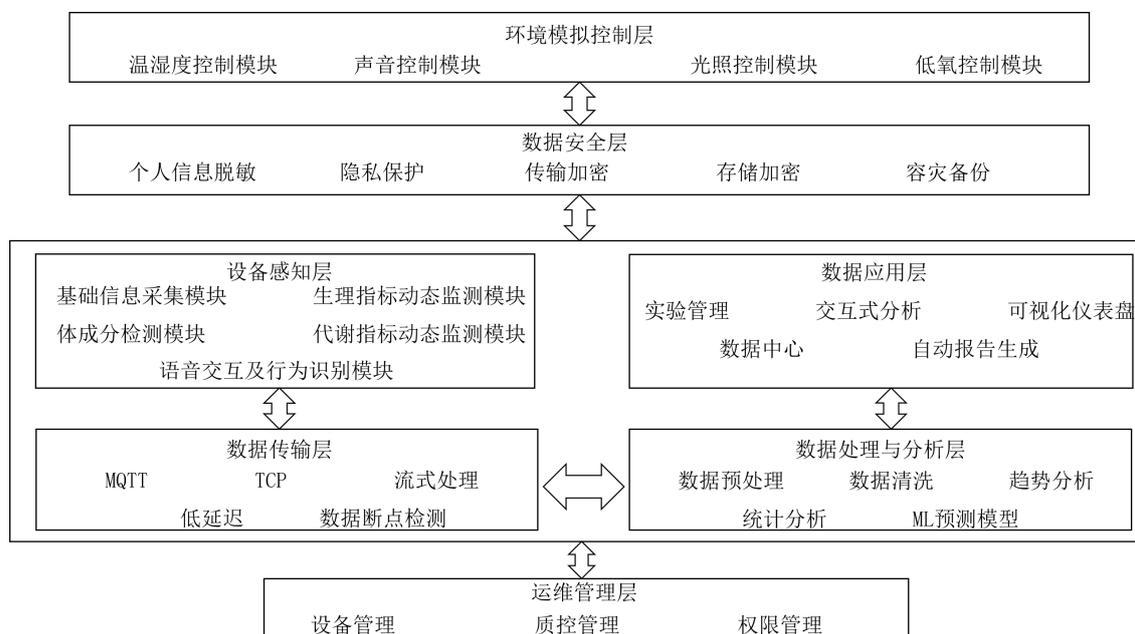
T_DELAY:数据发送的时间延迟

5 数字代谢舱平台架构

5.1 平台架构总体设计

人体能量代谢监测平台是旨在实现对受试者能量代谢及相关生理、体态等多模态数据的全天候、系统性、标准化采集、管理和分析的一种综合性解决方案。该平台主要设备感知层、环境模拟控制层、数据传输层、数据处理与分析层、数据应用层、运维管理层及数据安全层七层核心架构。

设备感知层主要集成了基础信息采集模块、生理指标动态监测模块、代谢指标动态监测模块、体成分检测模块、语音交互及行为识别模块，环境控制层主要集成温湿度控制模块、声音控制模块、光照控制模块、低氧控制模块，数据传输层主要采用MQTT及TCP协议将感知层的原始数据以高吞吐、低延迟方式可靠地输送到后端，数据处理与分析层包括预处理、数据清洗、趋势分析等功能，应用层包括实验管理、交互式分析、可视化分析等模块，运维管理层主要包括设备管理、质控管理、权限管理等功能，数据安全层主要包括个人信息脱敏、隐私保护、传输加密、存储加密、容灾备份等功能。



6 数字代谢舱总体要求

6.1 基础信息采集

平台应具备准确采集受试者基础信息的能力，包括姓名、性别、年龄、种族、检测时间、女性生理状态、身体形态参数（身高、胸围、腰围、臀围等）、体成分参数（体脂肪、肌肉、骨骼肌等）以及疾病诊断等信息，确保信息的完整性和准确性。

6.2 生理指标动态监测

应实现对心率、血氧饱和度、脉搏、呼吸率、收缩压/舒张压、心电、脑电、血糖、体温等生理指标的连续动态监测。明确规定血压采集频率为30min/次，心率、血氧饱和度、呼吸率等采集频率为1s/次，确保数据采集的及时性和准确性，为全面评估人体生理状态提供数据支持。

6.3 代谢指标动态监测

应实现代谢率、呼吸商、营养物质氧化率等代谢指标实时监测。要求代谢率测量准确率达到 98% 以上，呼吸商测量准确率达98%以上，确保平台能够精准反映人体能量代谢状态，为临床诊断和研究提供可靠数据。

6.4 数据安全与信息保护

人体能量代谢监测平台必须遵循全流程的数据安全与信息保护原则，平台在数据采集、传输、存储、处理与使用的每一个环节均应对数据进行加密；通过统一身份认证与基于角色功能确保不同用户仅访问其获授权的数据与功能。所有含有个人可识别信息的数据在进入分析环节前应进行脱敏或去标识化处理，并配套完整的处理日志，支持事后追溯。平台需建立备份与容灾机制，确保在突发故障或灾难场景下数据可恢复，以最大限度保障受试者隐私及数据安全。

6.5 平台兼容性

平台的用户操作界面（数据应用层）应至少兼容Chrome、Firefox、Edge浏览器的最新两个稳定版本，确保页面布局显示正常，核心功能无异常。

平台应支持未来新型可穿戴设备或监测设备（如脑电仪等）的接入。平台应提供标准化的API开发文档和设备接入指南。标准的符合性可通过成功集成至少一种非初始清单内的新型第三方设备来验证，验证过程应评估其接入的便捷性和数据格式的兼容性。

6.6 性能指标

平台的性能指标主要包括网络性能指标、软件服务性能指标、存储服务性能指标。平台服务商应提供与承诺相符的关于性能指标的材料和通过技术手段衡量待测服务的性能，具体要求如下：

- a) 网络性能指标
 - 1) 应准备待测服务管理相关的性能文档；
 - 2) 应具备解决方案指标参数的计算方式；
 - 3) 应支持企业平台级以上并发接入；
 - 4) 应支持大数据量级数据复制同步或网络传输；
 - 5) 应支持多地部署。
- b) 软件服务性能指标
 - 1) 应符合软件各功能模块的响应时间；
 - 2) 系统应使用BS架构，方便部署云端运营模式。
- c) 存储服务性能指标
 - 1) 应具备服务管理相关的性能文档；
 - 2) 应具备解决方案指标参数的计算方式；
 - 3) 应支持高交互数据读写I/O；
 - 4) 应具备大数据量级数据复制、同步的读写性能；
 - 5) 应具备大数据量级数据容灾检索性能和效率。

6.7 平台可靠性

平台的系统可靠性具体要求如下：

- a) 应具备数据容灾备份机制；
- b) 应具备故障恢复机制；
- c) 应支持数据容灾备份：支持多副本、异地备份、业务数据容灾等；
- d) 应具备服务连续性机制，云服务需要保证其服务不间断，能够持续地为用户提供容灾和恢复服务机制；
- e) 应具备功能完整性机制，云服务需要保证其所提供的功能能够完整、正确地执行，以保证用户地业务能够顺利实现；
- f) 应具备故障自动恢复能力，云服务需要具备故障自动检测和恢复的能力，快速响应与解决各种异常和故障，以缩短用户业务的中断时间；
- g) 应具备可扩展性机制：云服务需要具有良好的可扩展性，能够根据用户需求进行水平或垂直扩展，以满足不断增长的业务需求。

6.8 平台易用性

平台的系统易用性具体要求如下：

- a) 应具备当前版本发布时间、系统说明书、电子版快速帮助手册、操作演示文档、软件测试报告；
- b) 应提供试用版软件和软件在线试用功能。

6.9 平台稳定性

平台的系统稳定性具体要求如下：

- a) 系统稳定性，应避免出现系统崩溃或其他问题导致医疗数据的丢失或损坏；
- b) 数据稳定性，包括数据的完整性、保密性和可用性，应避免出现数据泄露或数据丢失的情况；
- c) 网络稳定性，以确保医疗人员在使用参评软件进行诊疗或操作医疗数据时的网络连接的稳定性，应避免网络断连或延迟导致操作失败或数据丢失的情况；
- d) 应用程序稳定性，应避免应用程序出现崩溃或其他问题导致医疗数据的丢失或操作失败的情况；
- e) 应支持实时监测、异常报警、自动容错等。

6.10 平台可维护性

平台的系统可维护性具体要求如下：

应支持小时自动化运维，实时监测、异常报警、自动容错等。

6.11 平台可移植性

平台的系统可移植性具体要求如下：

- a) 应支持操作系统的类型(版本):披露客户端及服务器端支持的操作系统及版本；
- b) 应支持支持数据库的类型(版本):披露支持的数据库及版本；
- c) 应支持支持云平台的类型(版本):披露支持的虚拟化平台版本。

7 技术规格和性能指标要求

7.1 代谢平台性能要求

- a) 并发连接数：平台应支持不少于200个代谢舱终端同时在线连接与数据传输；
- b) 低延迟：从设备感知层数据采集完成到数据安全抵达后端数据中台及数据大屏的端到端延迟，应低于1秒；
- c) 数据查询时间：核心数据监控页面查询时间不高于3秒；
- d) 数据存储：平台设计应能支撑10个代谢舱连续运行5年以上产生的所有原始数据和处理后数据的存储需求；
- e) 网络安全：应部署网络防火墙（WAF），建立定期的漏洞扫描和渗透测试机制，及时发现并修复安全漏洞；
- f) 时间同步：平台所有服务器及终端设备必须与国家授时中心时间服务器保持同步，时间误差不超过 100毫秒，确保多源数据的时序一致性；
- g) 可扩展性：应采用标准化API接口，支持HL7等国际主流医疗信息交换标准，有清晰、完善的开发文档，应支持未来新型可穿戴设备或监测设备（如脑电仪等）的接入。

7.2 代谢测量系统要求

精准测量代谢率、呼吸商等关键指标，随着技术发展逐步完善营养物质氧化率的测量。代谢率反映人体在不同状态下的能量消耗水平，呼吸商则有助于了解人体能量代谢过程中底物的利用情况，这些指标对于评估人体健康和代谢状态具有重要意义。具体要求如下：

- a) 代谢率相关测量指标
平台应对代谢率、呼吸商、营养物质氧化率等指标进行测量。
- b) 代谢指标准确率
 - 1) 代谢率测量准确率98%以上；
 - 2) 呼吸商测量准确率达98%以上。
- c) 代谢指标稳定性
 - 1) 代谢率重复测量准确性98%以上；
 - 2) 呼吸商重复测量准确性98%以上。

7.3 配备规范（穿戴设备，硬件设备等）

明确穿戴设备和硬件设备的配备规范，包括设备体积应符合人体工程学设计要求，便于受试者使用；规定采集标准、精确率和丢失率，确保数据采集的质量。随着技术的不断进步，持续优化设备性能，提升用户体验和数据采集的准确性。具体要求如下：

- a) 体积
 - 1) 穿戴设备体积应支持符合人体工程学设计，以便于受试者舒适佩戴，不影响正常活动；
 - 2) 硬件设备体积应支持考虑使用场地空间限制，便于安装和操作。
- b) 采集标准
 - 1) 设备应支持连续24h进行数据采集；
 - 2) 设备的血压采集频率应至少为30min/次，心率、血氧饱和度、呼吸率等采集频率为1s/次。

7.4 生理指标系统要求

7.4.1 主要生理参数

参考《GB/T 36344-2018 信息技术 数据质量评价指标》，生理指标系统应支持标准时间格式、心率、血氧饱和度、脉搏、呼吸率、收缩压/舒张压、心电、脑电、血糖、体温等主要生理参数。

7.4.2 评价标准

7.4.2.1 数据采集

连续24h时间采集带有时间标识的动态数据，确定血压采集频率为30min/次，心率，血氧饱和度，呼吸率等采集频率为1s/次。

7.4.2.2 评价指标

理论采集数据量为 $N=h \times f$

式中：

N ——理论采集数据量

h ——采集时长

f ——采集频率

应支持满足以下两个条件：数据质量总得分 ≥ 90 ；时效性，唯一性，完整性，准确性，稳定性单项得分不得少于10。

a) 规范性

- 1) 是否有标准的数据接口字段表（得分5/0）
- 2) 发送接口是否采用主流技术（得分5/0）

b) 可访问性

- 1) 是否可以通过数据接口直接获取数据（得分5/0）
- 2) 是否可以通过设备端直接获取数据（得分5/0）

c) 安全性

- 1) 发送数据是否有本地记录（得分5/0）
- 2) 突发情况下是否有数据容灾设计（得分5/0）
- 3) 数据接口是否加密处理（得分5/0）

d) 时效性

- 1) 发送数据是否存在时间延迟，延迟时间记为数据发送的时间延迟（T_DELAY）。（得分 $5 \times \text{level}/0$ ）

Level:

- 1 T_DELAY=0 level=3
- 2 T_DELAY < 1min level=2
- 3 T_DELAY <= 5min level=1
- 4 T_DELAY > 5min level=0

式中：

T_DELAY ——数据发送的时间延迟

- 2) 是否可通过算法校准，记为是否可通过算法校准时间延迟（COR_TIME）。（得分5/0）

Level:

- 1 T_DELAY=0 level=3
- 2 T_DELAY < 1min level=2

3 T_DELAY ≤ 5min level=1

4 T_DELAY > 5min level=0

式中:

T_DELAY ——数据发送的时间延迟

e) 唯一性

数据不可有重复数据, 重复数据数量记为重复数据的数量 (N_DUP), 重复率为 $P_DUP=N_DUP/n$ (得分 $5 \times level$),

式中:

P_DUP ——重复率

N_DUP ——重复数据的数量

n ——实际采集数据量

Level:

1 P_DUP < 1% level=3

2 P_DUP < 3% level=2

3 P_DUP ≤ 5% level=1

4 P_DUP > 5% level=0

式中:

P_DUP ——重复率

f) 完整性 (丢失率)

定义所有变量值都为0的数据为丢失, 统计数目记为丢失数据的数量 (N_NA)。

丢失率定义: $P_LOSS = (N-n+N_DUP+N_NA)/N \times 100$, (得分 $5 \times level$),

式中:

P_LOSS ——丢失率

n ——实际采集数据量

N_DUP ——重复数据的数量

N_NA ——丢失数据的数量

N ——理论采集数据量

Level:

1 P_LOSS < 3% level=3

2 P_LOSS < 5% level=2

3 P_LOSS ≤ 10% level=1

4 P_LOSS > 10% level=0

g) 准确性 (异常值率)

异常值按照不同的活动场景 (Behavior) 监测, 按照连续时间段划分记为按照连续时间段划分的活动场景数量 (BehaviorNum), 依次统计其数据的均值 (mean), 数据的标准差 (sd), 数据的标准误差 (se), 其中数据在 $(mean \pm 3sd)$ 之外定义为异常值。

错误率定义: $P_ERROR=N_OUTLIER/(n-N_DUP) \times 100$ 。(得分 $5 \times level$),

式中:

P_ERROR ——错误率

N_OUTLIER ——异常值的数量

n ——实际采集数据量

N_DUP ——重复数据的数量

Level:

- 1 P_ERROR<1% level=3
- 2 P_ERROR<3% level=2
- 3 P_ERROR<=5% level=1
- 4 P_ERROR>5% level=0

式中:

P_ERROR —— 错误率

h) 稳定性

三次数据依次计算重复率 (P_DUP), 丢失率 (P_LOSS), 错误率 (P_ERROR), 计算重复率 P_DUP 的标准差 (SD_DUP), 丢失率 P_LOSS 的标准差 (SD_LOSS), 错误率 P_ERROR 的标准差 (SD_ERROR), 重复率 P_DUP 的均值 (MEAN_DUP), 丢失率 P_LOSS 的均值 (MEAN_LOSS), 错误率 P_ERROR 的均值 (MEAN_ERROR)。 (得分 $5 \times \text{level}$)

其中:

$$CV_DUP = SD_DUP / MEAN_DUP \times 100,$$

式中:

CV_DUP —— 重复率的变异系数

SD_DUP —— 重复率 P_DUP 的标准差

MEAN_DUP —— 重复率 P_DUP 的均值

$$CV_LOSS = SD_LOSS / MEAN_LOSS \times 100$$

式中:

CV_LOSS —— 丢失率的变异系数

SD_LOSS —— 丢失率 P_LOSS 的标准差

MEAN_LOSS —— 丢失率 P_LOSS 的均值

$$CV_ERROR = SD_ERROR / MEAN_ERROR \times 100$$

式中:

CV_ERROR —— 错误率的变异系数

SD_ERROR —— 错误率 P_ERROR 的标准差

MEAN_ERROR —— 错误率 P_ERROR 的均值

$$MEAN_CV = (CV_DUP + CV_LOSS + CV_ERROR) / 3$$

式中:

MEAN_CV —— 平均变异系数

CV_DUP —— 重复率的变异系数

CV_LOSS —— 丢失率的变异系数

CV_ERROR —— 错误率的变异系数

level:

1 MEAN_CV < 1 level=3

2 MEAN_CV < 3 level=2

3 MEAN_CV <=5 level=1

4 MEAN_CV >5 level=0

式中:

MEAN_CV ——平均变异系数

7.5 体形态及体成分系统参数要求

体形态参数对于评估人体体型和健康风险具有重要意义，应采用标准化测量方法，确保测量结果的准确性和可比性；体成分参数帮助了解人体身体组成，为个性化健康管理和疾病预防提供数据支持。具体要求应包括但不限于以下参数：

a) 体形态的主要参数：

- 1) 颈围
- 2) 腰围
- 3) 臀围

b) 体形态的次要参数：

- 1) 胸围
- 2) 上臂围
- 3) 小腿围

c) 体成分参数：

- 1) 体脂肪
- 2) 肌肉
- 3) 骨骼肌
- 4) 水分
- 5) 去脂体重
- 6) 内脏脂肪

7.6 语音交互及行为识别系统要求

舱内的语音交互与行为识别设备配置完善，旨在为研究人员提供全面的受试者行为和情绪数据，辅助能量代谢研究。具体要求如下：

a) 舱内需要有实时语音交互系统，具体技术要求如下：

- 1) 配置实时语音交互设备，用于研究过程中与受试者的实时沟通和交互；
- 2) 支持呼叫式对讲和免呼叫式对讲模式，确保对舱内受试者的有效互动。

b) 行为识别系统应具备以下功能：

- 1) 行为捕捉模块：行为捕捉硬件应由RGB、深度、热感传感器构成，软件支持自主开发或通用人体识别算法，可以捕捉并识别任何光照条件下的多种姿态，包括人体姿态、进餐行为、睡眠、运动等；
- 2) 表情捕捉模块：表情捕捉硬件应分布于舱内各墙壁，支持全角度捕捉并识别受试者微表情与情绪；

c) 全景采集模块：具备全景视频捕捉设备，用于提供舱内全方位实时画面和视频切片，支持行为特定事件监控，实现舱内视觉数据的全面覆盖；

d) 数据分析能力：根据采集到的多模态舱内数据，支持丰富的行为和心理分析，支持多种微表情和多类情绪的分析与建模。

8 质量控制措施要求

8.1 月度质控检测要求

月度质控检测需进行丙烷/酒精燃烧/Gas Blender实验和空舱检测，检测过程要求应参考《GB 19489-2008 实验室 生物安全通用要求》、《GB/T 37864-2019 生物样本库质量和能力通用要求》、《WS/T 313-2019 医务人员手卫生规范》。若没有通过月度质控检测，代谢数据读数出现偏移概率较大，因此人体能量代谢监测平台需具备对月度质控检测的确认功能，具体技术要求如下：

a) 舱体实验检测能力要求：

- 1) 平台应具备定期校验质控文件是否存在，可支持设置检查频次，如按月检查或按周检查；如不存在或缺少必要的质控文件，则无法使用平台业务功能；
- 2) 质控检测须包括但不限于丙烷/酒精燃烧/Gas Blender实验质控文件；
- 3) 应支持查看标准舱体运行时间，标准舱体至少运行24小时，RMR舱体至少运行1小时；
- 4) 丙烷检测应支持判断代谢舱相关设备是否进行校准和预热，处于稳定运行状态，并记录燃烧重量，设置火焰高度；
- 5) 酒精检测应支持确认设备的校准与预热，处于稳定运行状态，查看酒精纯度（应使用工业级或实验室级乙醇，纯度大于等于99.5%），记录酒精燃烧前后的重量，并确认酒精容器的密封性；
- 6) 应支持检测燃烧实验气体回收率和气体浓度是否在合理范围内，并支持阈值设置；
- 7) 质检丙烷和燃烧实验气体回收率应在95% - 105%，否则不通过质检；
- 8) 质检Gas Blender实验气体浓度偏差应在±2%之内，应支持确认所需气体纯度符合实验要求（大于等于99%），应支持确认每隔10分钟读取一次氧气、二氧化碳、氮气的浓度和总流量，否则不通过质检；
- 9) 应支持舱体密闭性和传感器精度检录，并支持检录阈值设置。

b) 空舱检测能力要求：

- 1) 应支持检测舱体是否存在漏气，并支持检测数值用于计算参数的修正，确保实验环境的稳定性；
- 2) 应支持确认空舱检测运行是否超过8小时；
- 3) 应具备查看质检结果功能；
- 4) 应具备分析质控数据是否符合标准范围：舱体漏气率<0.1%，环境参数偏差±0.5℃（温度），±5%（湿度）；
- 5) 任一质检数据不符合要求时平台应主动对用户发出预警。

8.2 常规气体校准要求

常规气体校准是质量控制措施的重要组成部分，平台的常规气体校准提示应每周执行一次，具体参数及要求如下：

- a) 校准气体浓度偏差<0.05%。确保气体分析系统的准确性以及可靠性；
- b) 校准重复性误差<3%，确保气体校准操作的规范性以及气体分析系统的稳定性；
- c) 最近一次校准超过一周时平台应对用户发出预警或提醒。

8.3 其他质控要求

在检修/更换了气体分析部件之后，需要进行丙烷和空舱检测，平台在检测完成之后应确认质控文件和结果是否存在，并分析质控数据是否符合标准范围。

9 刺激系统要求

9.1 温度刺激要求

温度刺激系统要求包括温度控制范围、温度控制标准以及标准测量方法三个方面，平台应对以下参数做出强制性校验，在有不通过校验的参数存在时，提示用户调整参数合规，具体参数要求如下：

- a) 温度控制范围：15-30℃；
- b) 温度控制标准：应支持在舱内进行温度实验需达到24小时温度精准控制，温度准确性偏差=平均舱内温度-设置温度，最大偏差不超过正负0.5℃，24小时内温度波动幅度不超过正负0.5℃。舱内温度需均匀分布，温度梯度不超过正负0.5℃；
- c) 标准测量方法应支持：
 - 1) 准确率：对舱体内进行24小时温度连续监测，检测系统需校准，监测频率每秒1次；
 - 2) 均匀性：对舱内进行温度控制时，舱内四角及中心温度分别进行监测，检查5个监测点的最大偏差在24小时内均在正负0.5℃以内。

9.2 低氧刺激要求

低氧刺激系统要求包括氧气浓度控制范围、低氧刺激控制标准以及标准测量方法三个方面，平台应对以下参数做出强制性校验，在有不通过校验的参数存在时，提示用户调整参数合规，具体参数要求如下：

- a) 氧气浓度控制范围：20.94% - 9.7%，模拟海拔高度：0-6000米
- b) 低氧刺激控制应支持：
 - 1) 舱体密封性：保证舱体严格密封，在任意低氧条件下，buffer和舱体内氧分压差达到1%以内，并在停止气体交换后氧气浓度泄漏率小于0.1% /小时；
 - 2) 低氧稳定性：低氧系统可维持舱内氧气含量在目标低氧浓度下稳定维持正负0.3%的氧气浓度波动，维持稳定时间超过10小时。
- c) 标准测量方法应支持：
 - 1) 密封性检测：标准大气压下，同时检测舱体与buffer空间内氧气浓度，确认舱体内的氧气浓度与buffer空间的氧分压差达到1%以内；
 - 2) 稳定性：标准大气压下，进行10小时的氧气浓度监测，监测频率每秒1次，10小时内平均氧气浓度与目标氧气浓度相比准确率达99%以上，最大波动不超过正负0.3%。

附录 A
(资料性)
人体能量代谢舱核心评价指标

A.1 平台性能指标

类别	评价项	指标要求
平台性能	并发连接数	≥ 200 个
平台性能	端到端数据延迟	< 1 秒
平台性能	核心页面查询时间	< 3 秒
平台性能	数据存储能力	支撑10个代谢舱连续运行5年以上
平台性能	时间同步误差	≤ 100 毫秒

A.2 代谢测量指标

类别	评价项	指标要求
代谢测量	代谢率/呼吸商测量准确率	$\geq 98\%$
代谢测量	代谢率/呼吸商重复测量准确性	$\geq 98\%$

A.3 生理测量指标

类别	评价项	指标要求
生理测量	时效性 (T_DELAY)	T_DELAY=0 (15分); $< 1\text{min}$ (10分); $\leq 5\text{min}$ (5分)
生理测量	唯一性 (P_DUP)	$< 1\%$ (15分); $< 3\%$ (10分); $\leq 5\%$ (5分)
生理测量	完整性 (P_LOSS)	$< 3\%$ (15分); $< 5\%$ (10分); $\leq 10\%$ (5分)
生理测量	准确性 (P_ERROR)	$< 1\%$ (15分); $< 3\%$ (10分); $\leq 5\%$ (5分)
生理测量	稳定性 (MEAN_CV)	< 1 (15分); < 3 (10分); ≤ 5 (5分)
生理测量	总体评价	总得分 ≥ 90 分; 单项 ≥ 10 分

A.4 质量控制

类别	评价项	指标要求
月度质控	气体回收率（丙烷/燃烧）	95% - 105%
月度质控	Gas Blender 浓度偏差	± 2%
月度质控	舱体漏气率	< 0.1%
月度质控	环境参数偏差	温度 ±0.5°C; 湿度 ±5%
每周气体校准	浓度偏差	< 0.05%
每周气体校准	重复性误差	< 3%

A.5 刺激系统

类别	评价项	指标要求
温度刺激	控制范围与精度	15-30°C, 偏差 ≤ ±0.5°C
温度刺激	24h波动幅度	≤ ±0.5°C
低氧刺激	氧浓度范围（模拟海拔）	20.94% - 9.7% (0-6000m)
低氧刺激	舱体密封性（泄漏率）	< 0.1% / 小时
低氧刺激	低氧稳定性	目标浓度 ±0.3%, 持续 > 10小时

参 考 文 献

- [1] Bao, R., Guo, Y., Hu, Y., Ning, G., Pan, S., & Wang, W. (2025). Standardized assessment of energy excretion in healthy adults: a novel methodology. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 121(2), 470-477.
- [2] Bao, R., Sun, Y., Jiang, Y., Ye, L., Hong, J., & Wang, W. (2022). Effects of time-restricted feeding on energy balance: a cross-over trial in healthy subjects. *Frontiers in Endocrinology*, 13, 870054.
- [3] Bao, R., Ning, G., Sun, Y., Pan, S., & Wang, W. (2023). Evaluation of mask-induced cardiopulmonary stress: A randomized crossover trial. *JAMA Network Open*, 6(6), e2317023-e2317023.
- [4] Bao, R., Hu, Y., Xu, R., Gao, C., Guo, Y., Zhu, Y., ... & Wang, W. (2024). The metabolic effects of habitual leg shaking: A randomized crossover trial. *Journal of Diabetes*, 16(5), e13556.
- [5] Xu, R., Bao, R., Hu, Y., Gao, C., Guo, Y., Zhu, Y., ... & Pan, S. (2025). Reevaluating the energy cost in locomotion: quadrupedal vs. bipedal walking in humans. *International Journal of Sports Medicine*, 44.
- [6] Zhang, Y., Liu, R., Chen, Y., Cao, Z., Liu, C., Bao, R., ... & Wang, W. (2025). Akkermansia muciniphila supplementation in patients with overweight/obese type 2 diabetes: Efficacy depends on its baseline levels in the gut. *Cell Metabolism*.
- [7] Chen, K. Y., Smith, S., Ravussin, E., Krakoff, J., Plasqui, G., Tanaka, S., ... & Melanson, E. L. (2020). Room Indirect Calorimetry Operating and Reporting Standards (RICORS 1.0): a guide to conducting and reporting human whole-room calorimeter studies. *Obesity*, 28(9), 1613-1625.
- [8] Moon, J. K., Vohra, F. A., Jimenez, O. S. V., Puyau, M. R., & Butte, N. F. (1995). Closed-loop control of carbon dioxide concentration and pressure improves response of room respiration calorimeters. *The Journal of nutrition*, 125(2), 220-228.
- [9] Ravussin, E., Lillioja, S., Anderson, T. E., Christin, L., & Bogardus, C. (1986). Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *The Journal of clinical investigation*, 78(6), 1568-1578.
-