

# 基于 TOC 和 TRIZ 理论的儿童下肢康复训练仪改良设计研究

胡茜雯, 万千, 方海  
(广东工业大学, 广州 510006)

**摘要:** **目的** 解决现有儿童下肢康复训练仪难以适配儿童患者、功能性单一及缺乏互动的问题, 使儿童下肢康复训练达到更好的训练效果。**方法** 提出一种基于约束理论 (TOC) 和发明问题解决理论 (TRIZ) 的儿童下肢康复训练仪改良设计方法, 将 TOC 理论中的当前现实树和冲突解决图表与 TRIZ 理论中的冲突解决工具相结合, 提出一种针对交互体验问题的基于 TOC 和 TRIZ 理论的改良设计与流程, 并将其应用于儿童下肢康复训练仪的改良设计中。**结论** 基于 TOC 和 TRIZ 理论的儿童下肢康复训练仪改良设计能够显著提高患儿的训练效果, 其改良点包括造型和交互体验两个方面。利用 VR 技术与故事 (游戏) 情节结合的方式, 提高了患儿的训练兴趣和参与意愿; 将患儿信息上传至云端数据库, 可生成不同的故事 (游戏) 情节, 匹配不同的训练阶段, 提高了训练的针对性; 智能控件降低了训练过程中对康复师的依赖性, 从产品角度缓解了康复师供不应求的现状。

**关键词:** TOC; TRIZ; 改良设计; 儿童; 下肢康复训练仪

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)18-0109-09

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.18.013

## Improved Design of Lower Limb Rehabilitation Machine for Children Based on TOC and TRIZ

HU Qian-wen, WAN Qian, FANG Hai  
(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**ABSTRACT:** This study aims to solve the problems that the existing lower limb rehabilitation training machine could be hardly adapted to children, has single function and lacks interaction, so as to provide better training effect for lower limb rehabilitation training of children. An improved design method for the lower limb rehabilitation training machine for children was proposed based on the constraint theory (TOC) and the invention problem solving theory (TRIZ). Meanwhile, the current reality tree and conflict resolution chart in TOC were combined with the conflict resolution tool in TRIZ, to propose an improved design method and process based on TOC and TRIZ that were specific for interactive experience problems, which were then applied to the improved design of the lower limb rehabilitation training machine for children. The improved design of the lower limb rehabilitation training machine for children based on TOC and TRIZ could remarkably enhance the training effect on children. Its improvement points include two aspects, namely, modeling and interactive experience. Specifically, VR technology is used in combination with story (game) plot to improve the training interest and willingness to participate of the affected children; the children information is uploaded to the cloud database to generate different story (game) plots that are matched with different training stages, which could boost the training specificity; and the intelligent control reduces the dependence of training on the rehabilitation therapist, thus relieving the current situation of insufficient rehabilitation therapist from the product perspective.

**KEY WORDS:** TOC; TRIZ; improved design; children; lower limb rehabilitation machine

收稿日期: 2020-04-02

基金项目: 广东省社会科学基础研究基地“设计科学与艺术研究中心”; 广东省教育厅项目“城乡可持续发展观下的绿色设计研究及其产业化实践”(2017WZDXM007)

作者简介: 胡茜雯 (1991—), 女, 河南人, 广东工业大学博士生, 主要研究方向为可持续产品系统设计。

通信作者: 方海 (1963—), 男, 江苏人, 博士, 广东工业大学教授、博士生导师, 主要研究方向为工业设计领域的跨学科交叉。

相对于欧美发达国家,我国康复领域的研究起步较晚,对儿童康复相关设计的关注度尚且不足,儿童康复训练仪的发展水平仍远低于发达国家。中国现有脑瘫患者六百万,其中0~6岁的脑瘫儿童有将近两百万人,并且以每年4~5万名的速度不断增长。虽然危重症儿童患病的救治效果已有明显改善,但是完全治愈率却仍然保持在极低的状态,尤其是在康复师数量和现实需求极不对等的情况下,这些都对儿童康复行业的发展带来了严峻的考验<sup>[1-2]</sup>。脑瘫患儿以步行障碍为主,通常利用躯体牵引、借助康复训练仪等力学因素进行个体运动训练,可有效改善下肢功能。然而现有儿童下肢康复训练仪存在使用效果不佳的问题,除在人机尺寸方面外,产品普遍未与成年人康复训练仪存在区别,并且无针对患儿心理与生理康复上的能动作用。由于儿童患者在不同的康复阶段和康复训练中有不同的心理特点和行为特点,所以康复仪设计应当更多地考虑到患儿的特点和训练需求。优良儿童下肢康复训练仪设计有利于患儿接受康复训练,并在训练时保持良好的情绪状态,进而提高康复效果,也使得患儿在改善功能障碍的同时,为走向社会做好心理准备。因此,重视康复人群和为康复工程的促进做出贡献,既是中国民生民意与科学进步的标志,也是落实科学发展观的重要体现。

约束理论(Theory of Constraints,简称TOC)结合发明问题解决理论(Theory of Inventive Problem Solving,简称TRIZ)的集成方法引入设计领域最早被应用在新产品开发阶段,利用TOC中的技术工具去定义产品设计中的矛盾,然后再利用TRIZ解决冲突,如应用在汽车安全气囊设计、滤棒测径仪结构设计等<sup>[3-7]</sup>;之后又将改进后的TOC和TRIZ集成方法应用在机械结构的改进领域,以便高效锁定产品结构中需解决的矛盾,进而用TRIZ求解形成解决问题的方案,如针对螺杆泵的技改、恒流阀的改进等<sup>[8-10]</sup>,

以上的实例应用都取得了良好的效果,验证了TOC帮助TRIZ解决问题的可行性。产品优化改良的过程就是不断解决现有产品所存在的设计冲突的过程。设计师不断发掘设计过程中的冲突并加以解决,是推动其向理想化产品演进的动力<sup>[11]</sup>。将此集成方法具体应用于儿童下肢康复训练仪改良设计问题,当面对产品设计领域的交互体验问题时,此集成方法在其操作办法步骤上需进行调整,为TOC与TRIZ的结合构建一个系统的方法和流程。

### 1 基于TOC和TRIZ的产品改良设计与流程

产品改良设计的需求主要来自企业自身发展的需要,如产品存在销售下降、企业产业升级、企业品牌升级、来自竞争对手的压力及自身产品存在问题等<sup>[12]</sup>。通过不断的产品改良来满足日益变化的市场需求,弥补上一代产品中存在的缺陷,增加销售量从而使企业获取利润<sup>[13]</sup>。任何产品都具有社会性、时间性和审美疲劳性。如果产品的核心技术没有关键性突破,那么在原有产品的使用功能之上,通过优化产品使用流程,提升产品用户体验,就成为企业提高产品竞争力最主要的手段之一<sup>[14]</sup>。提高现有产品性能的最有效方法是找到“约束”,即问题点,就是现有产品系统中最薄弱的环节,借助TOC技术工具中的当前现实树(Current Reality Tree,简称CRT)和冲突解决图表(Conflict Resolution Diagram,简称CRD)可以指导设计师找到约束的突破点,改良或解除确定的不合理约束,然后采取相应解决问题的方法对其进行改良,TOC构建一分析逻辑图表过程见图1。

基于TOC和TRIZ理论的产品改良设计过程按照分析问题—确定问题—解决问题的思路展开,可将流程分为以下四个阶段,见图2。

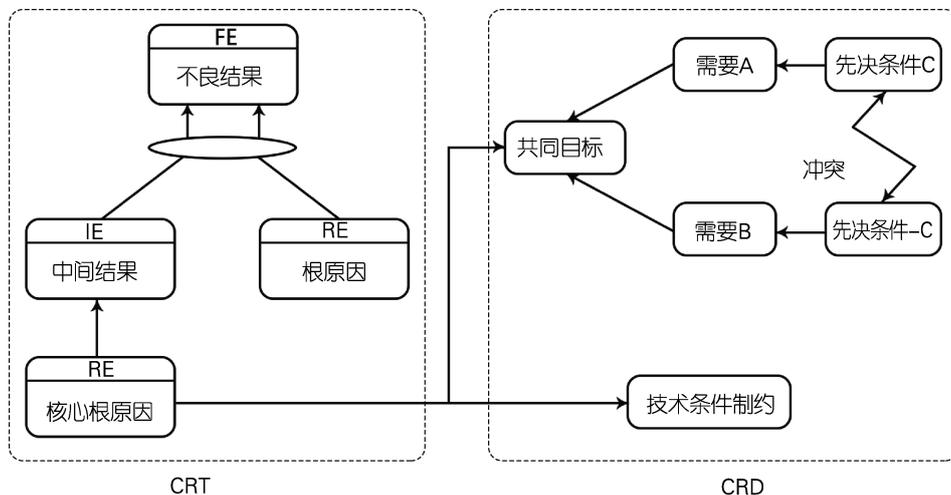


图1 TOC构建一分析逻辑图表过程  
Fig.1 TOC build-analysis logic chart process

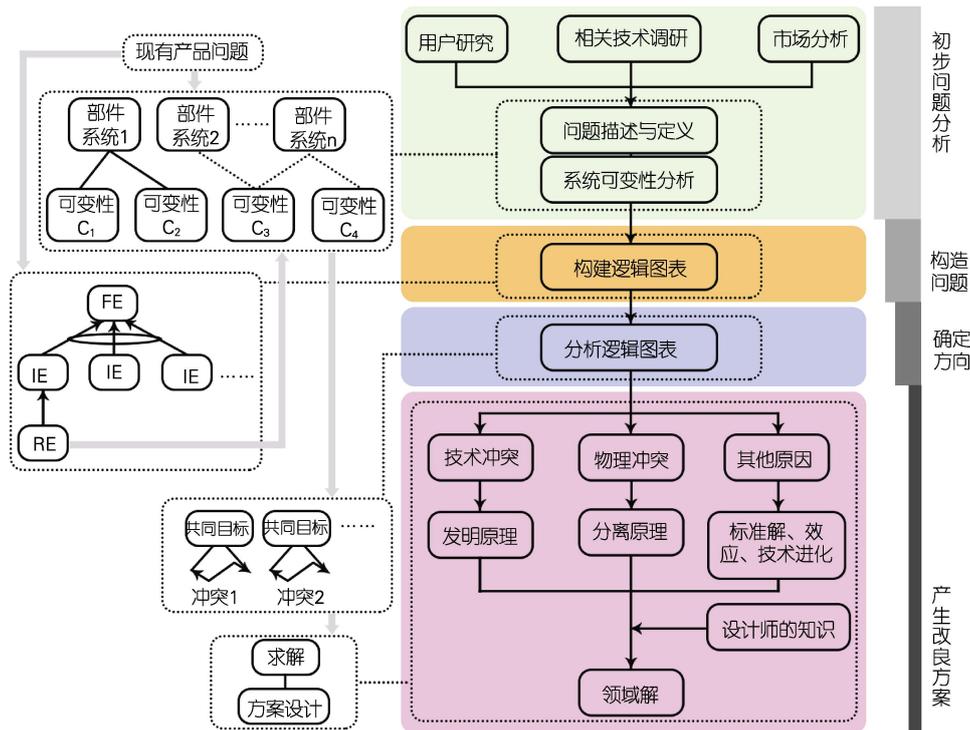


图 2 基于 TOC 和 TRIZ 的改良设计方法和流程

Fig.2 Improved design method and process based on TOC and TRIZ

1) 问题描述及系统分析阶段。此阶段通过结合用户研究、相关技术调研及市场分析，对产品所存在的问题进行描述。然后，将产品系统拆分为多个实体系统，对各实体系统进行可变性分析，明确每部分的功能（作用）、关联系统和关联人群，并将实体系统区分为技术可改变的问题（ $C_1$ ）、设计可改变的问题（ $C_2$ ）、通过环境来影响（ $C_3$ ）和不能改变（ $C_4$ ）。此阶段的目的在于初步分析问题，为进一步运用 TOC 理论确定产品的改良问题点奠定基础。

2) 构建逻辑图表阶段。首先构建当前现实树 CRT，当前现实树 CRT 描述给定系统的现实状况，在充分逻辑的基础上，反映特定系统在给定环境下的因果关系链，推断根本原因并从系统中明显存在不利的结果中识别其核心问题<sup>[15]</sup>，当前现实树 CRT 回答了要“改良什么”的问题。然后，对实体进行编号，逻辑图中的实体分为三大类：最终实体（Final Entities，简称 FE）、中间实体（Intermediate Entities，简称 IE）和根实体（Root Entities，简称 RE）。一个完整的实体编号包括类别、类号与层号三部分。层号采用自顶向下和自左向右的方式，向下依此类推<sup>[9]</sup>。此阶段的目的是构造问题。

3) 分析逻辑图表阶段。首先根据上阶段构建的现实树 CRT，目的是明确每个最终结果产生的根原因。依次针对现实树 CRT 中用 FE 编号表示的实体，构建其总逻辑表达式。在逻辑表达式中“×”表示为“与”的关系，“+”表示为“或”的关系。然后自上向下简化其逻辑表达式，直到表达式左端全部为 RE 编号表示的实体。若简化后的逻辑表达式中有涉及不

能通过设计师来改变的实体可用逻辑值 1 来代替，即最终呈现的实体即为问题产生的核心根原因。此后，针对确定的核心根原因分析其中存在的冲突问题，通过冲突解决图表 CRD 让设计者对于产生冲突的过程具有清楚的认识。冲突解决图表包含一个系统共同目标、两个需要和两个先决条件，建立在必要条件的基础上，能确定和显示一个问题环境中所有的相关元素<sup>[16]</sup>，此阶段的目的在于确定问题解决的可能方向。

4) 产生改良方案阶段。将上阶段确定的冲突问题通过 TRIZ 中的冲突解决工具寻求领域解。识别上阶段中分析确定得出的冲突问题，并判断冲突类别，例如为技术冲突可采用发明原理求解，为物理冲突可采用分离原理求解，为其他原因而产生的冲突问题可采用标准解、效应或技术进解决。此阶段的目的是让设计者结合专业知识，根据 TRIZ 一系列解决问题工具将问题转变为领域解，进而产生改良设计方案。

## 2 儿童下肢康复训练仪改良设计

利用下肢康复仪进行的肌力训练，可以对痉挛型脑瘫患儿的躯干控制及膝关节伸展等运动相关能力有显著提高<sup>[17]</sup>；同时在改善患儿的平衡功能、粗大运动等方面也取得了良好的效果<sup>[18]</sup>。下肢康复训练仪基本功能部件包括座椅、扶手、脚踏、显示装置、操控面板、主体支架、电机控制模组及检测系统，现有下肢康复训练仪产品见图 3。其使用过程可以描述为：康复师根据患儿的专科医生给出的康复训练建议确定本次训练的计划，患儿坐卧在座椅处之后，在操控



图3 现有下肢康复训练仪产品

Fig.3 Pictures of existing lower limb rehabilitation machine product

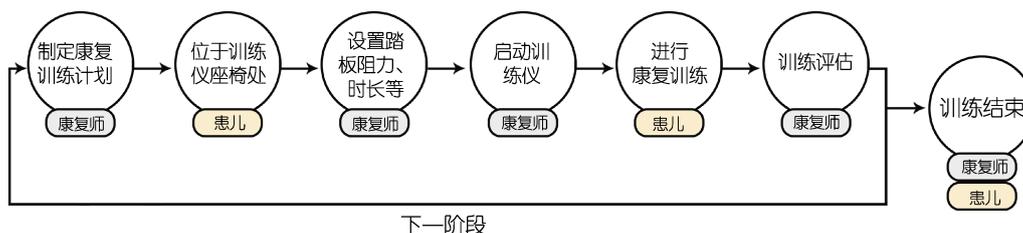


图4 现有康复训练过程

Fig.4 Existing rehabilitation training process

面板上设定相应的踏板阻力和训练时间,启动康复训练仪;当患儿完成一组训练时,康复师测量其心率(已有的康复训练仪在把手处设置了心率监测),根据测量结果设置下一轮的训练强度,依次循环,至训练结束为止,现有康复训练过程见图4。

## 2.1 问题描述及系统分析

通过对患儿、专科医生及康复师的相关调研,总结出有儿童下肢康复训练仪存在着使用效果不佳的问题,而应用于训练过程中主要存在以下问题。

1) 儿童下肢康复训练仪只是成人尺寸的缩小版,未考虑到儿童与成年人之间的认知差别,参与式的训练需要具有一定的认知水平、专注力和配合程度,然而这对智力有障碍或低年龄儿童而言更加困难,进而导致患儿使用患肢去完成相应的训练的意愿低。

2) 不同康复训练阶段所侧重的功能改善也有所差异,但目前该仪器的功能较为单一,难以满足各阶段康复训练要求。康复训练具有阶段性特点,首先要对患儿的运动发育能力、异常运动模式、认知与心理状况等方面进行初次的全面评估,根据评估结果分析

患儿存在的主要行为能力损失问题,依此制定完整的康复训练计划;当初步训练目标完成后,再进行中期评估,制定下一阶段相应的训练计划和康复治疗方法;最后对其进行末期身体状况评估和总结,达到异常行为矫正和改善功能的效果。在此过程中,初期阶段、中期阶段和末期阶段的康复针对性各有不同,导致训练形式、时长、速度、强度等都有所不同。

3) 随着我国康复工程的不断推进与发展,康复治疗越来越受到患者的重视,康复训练仪和专业指导人员的需求激增。面对大量患儿的养护和康复需求,康复训练师供不应求,导致康复训练的效果无法保证。本次改良设计主要针对以上三方面展开。

可将产品按照实体功能部件分为座椅、扶手、脚踏、显示装置、操控面板、主体支架、电机控制模组及检测系统等八个部分,分别分析其功能(作用)、关联系统、关联人群和可变性,见表1。

## 2.2 构建逻辑图表

首先确定逻辑图表的输入,构建当前现实树 CRT 明确设计的主要问题,依照因果关系链逐步分解,从

系统中明显存在的不良结果推断根原因和确定核心 患儿参与意愿低、RE402 训练形式单一，现有儿童下肢康复训练仪问题逻辑见图 5。

表 1 儿童下肢康复训练仪系统分析  
Tab.1 System analysis of lower limb rehabilitation machine for children

标号	实体系统	功能（作用）	关联系统	关联人群	可变性
a	座椅	(1) 为患儿提供训练时的坐卧空间 (2) 确保训练时患儿保持正确的姿态 (3) 适应不同身高的患儿，可进行调节 (4) 坐卧时保持舒适感	f	患儿	C1 C2
b	扶手	(1) 为患儿在训练和进出时提供身体支撑 (2) 在训练时保持身体平衡	f;h	患儿	C1 C2
c	脚踏 (包含配件)	(1) 力的输入、输出介质 (2) 通过脚踏板束带固定下肢	f;g	患儿 康复师	C4
d	显示装置	(1) 功能按键反馈的可视化 (2) 心率等数值信息显示	e;f;g;h	患儿 康复师	C1 C2
e	操控面板	(1) 阻力、时长、速度等功能输入 (2) 功能调节、切换	d;f;g	康复师	C1 C2
f	主体支架	(1) 保障设备结构安全稳固 (2) 通过造型风格可增加友好感	a;b;c;d;e;g;h	患儿 康复师	C2
g	电机控制模组	(1) 电力接入 (2) 智能控制保证设备运行的安全稳定 (3) 提供正向动力和反向阻力 (4) 紧急情况采取安全保护措施	d;e;f	—	C1
h	检测系统	(1) 心率等检测	b;d;f	患儿	C3

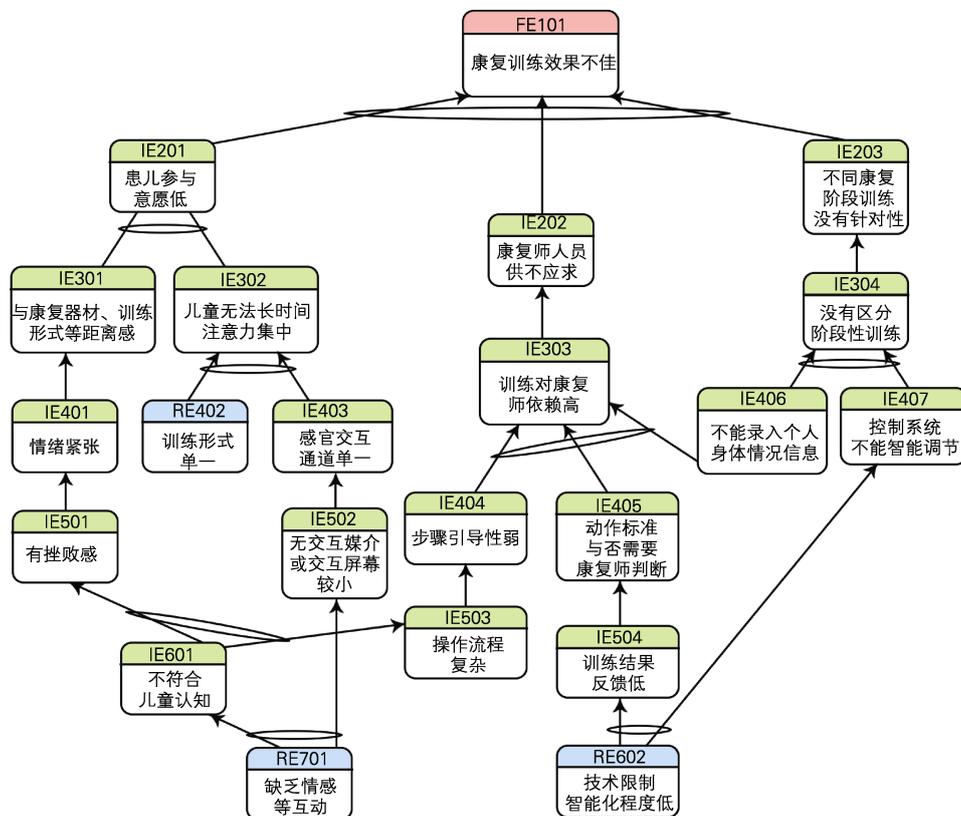


图 5 现有儿童下肢康复训练仪问题逻辑

Fig.5 Problem logic of existing lower limb rehabilitation machine for children

### 2.3 分析逻辑图表

分析最终不良结果产生的核心根本原因。问题康复训练效果不佳所对应的逻辑关系为

$$RE402 \times RE701 \times RE602 \geq FE101 \quad (1)$$

在式(1)中由于 RE602 主要依靠科学技术的研发和应用,在改良阶段尚不能通过设计者的设计结果来改变,在逻辑中其值为 1,则公式(1)可以简化为

$$RE402 \times RE701 \geq FE101 \quad (2)$$

由式(2)得到问题产生的核心根原因为 RE402 训练形式单一和 RE701 缺乏情感等互动。

从当前现实树 CRT 中可以分析得到系统中存在的冲突,见图 6,具体如下。

1) 为了使康复训练的形式多样化,要求丰富训练情景(如故事化、游戏化等),进而符合儿童生理与心理的认知水平;但为了使康复训练的形式多样化,会导致系统操作复杂性的增加,不符合儿童认知规律。因此,这两者之间存在潜在的矛盾冲突。

2) 为了提升情感互动,要求产品与患儿之间信息反馈增多,进而提高患儿的参与沉浸感;但提升情感互动需要降低患儿在动作不到位、无法完成康复训练等时候的挫败感,这就使患儿在进行训练的时候代入感降低。因此,这两者之间存在潜在的矛盾冲突。

### 2.4 产生改良方案

根据以上分析可得,儿童下肢康复训练仪改良设计过程中存在两个潜在设计冲突,需要对其分别分析并求解。

#### 2.4.1 训练形式冲突求解

在该冲突中,训练形式多样化会导致儿童下肢康复训练仪的信息结构不符合患儿认知,即加强训练形

式的有用性能会使训练系统变得太复杂,因此可将此类冲突归纳为技术冲突范畴。用 TRIZ 语言可以将这一技术冲突标准化,对照三十九个标准工程参数中的一对参数进行问题描述,其“26 物质或事物的数量”为改善的通用工程参数,其“36 装置的复杂性”为恶化的通用工程参数,根据 TRIZ 矛盾矩阵可以得出对应的发明原理,见表 2。

#### 2.4.2 情感等互动冲突求解

在该冲突中,为了降低患儿的挫败感,需要患儿在未完成训练目标或未完成标准动作时较少出现评判性干扰,以此降低患儿的代入感,但这也导致了训练反馈方面性能的下降,即为改善训练仪某一方面的性能的同时使另一系统的性能恶化,因此可将此类冲突归纳为技术冲突范畴。用 TRIZ 语言可以将这一技术冲突标准化,对照三十九个标准工程参数中的一对参数进行问题描述,其“27 可靠性”为改善的通用工程参数,其“35 适应性及多用性”为恶化的通用工程参数,根据 TRIZ 矛盾矩阵可以得出对应的发明原理,见表 3。

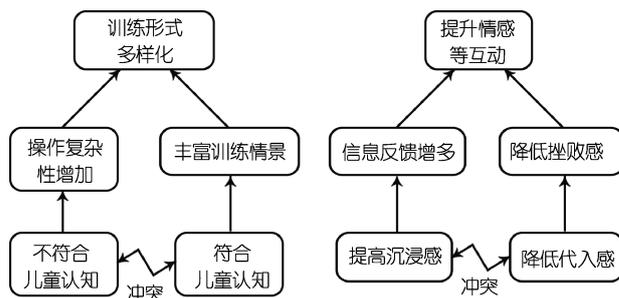


图 6 儿童下肢康复训练仪的冲突解决  
Fig.6 Conflict resolution for lower limb rehabilitation machine for children

表 2 训练形式冲突及其对应的原理  
Tab.2 Training form conflict and its corresponding principle

原理	原理基本内容
No.3	No.3: 局部质量 选用原理“No.3: 局部质量”解决这一冲突。结合本设计案例,由于认知负荷是产生负面影响的重要来源,所以可结合儿童的心理与生理认知测评,在训练过程中通过定制式选择不同训练形式
No.13	No.13: 反向 选用原理“No.13: 反向”解决这一冲突。结合本设计案例,可采用开放式的训练平台,将同一训练形式构建为不同的故事(游戏)情节,康复师可根据患儿的认知水平,选择不同的故事(游戏)展开训练,避免增加患儿在训练过程中的认知负荷
No.27	No.27: 用低成本、不耐用的物体代替昂贵、耐用的物体 该原理无应用
No.10	No.10: 预操作 选用原理“No.10: 预操作”解决这一冲突。结合本设计案例,康复师可在训练开始前使用康复训练仪对患儿进行相关介绍与培训,使患儿熟悉训练操作流程和步骤;或者将儿童熟知的故事(游戏)形式与训练结合,提高训练的友好程度,进而避免增加患儿在训练过程中的认知负荷

表 3 情感等互动冲突求解及其对应的原理  
Tab.3 Emotional and other interactive conflicts and their corresponding principles

原理	原理基本内容
No.35	No.35: 参数变化 选用原理 “No.35: 参数变化” 解决这一冲突。结合本设计案例, 可尝试采用虚拟原型; 在达到阶段性训练目标之后, 给患儿一定的鼓励或放松措施
No.13	No.13: 反向 选用原理 “No.13: 反向” 解决这一冲突。结合本设计案例, 可将错误反馈转变为鼓励式的提醒, 告诉患儿距离实现目标还有多远, 暗示患儿目标绝对是可以达到的, 给患儿继续训练下去的动力
No.8	No.8: 重量补偿 选用原理 “No.8: 重量补偿” 解决这一冲突。结合本设计案例, 可让患儿将对故事 (游戏) 情节的兴趣补偿到康复训练之中, 故事 (游戏) 能消除或限制了达到目标最明显的正误方式 (即挫败感), 激励患儿主动挑战障碍, 探索故事 (游戏) 发展中未知的可能空间, 进而在整个训练过程中保持较长时间注意力, 并满怀热情地不断挑战故事 (游戏) 所设置的重重障碍
No.24	No.24: 中介物 选用原理 “No.24: 中介物” 解决这一冲突。结合本设计案例, 可将 VR 技术与故事 (游戏) 的情景结合, 精彩的故事 (游戏) 能让训练目标变得更具有可实现性, 激发患儿的兴趣, 等级设置增加了患儿完成阶段性训练的成就感, 有利于患儿心理方面的康复, 如令人身临其境的 3D 图像、声音反馈和视觉效果, 能提高患儿在故事 (游戏) 中完成任务所需的持续关注度



图 7 儿童下肢康复训练仪最终改良设计方案  
Fig.7 Final improvement design scheme for lower limb rehabilitation machine for children

因此, 根据以上获得的儿童下肢康复训练仪改良设计领域解, 经过汇总、筛选与方案评价, 最终得到以下改良方案, 见图 7。

儿童下肢康复训练仪改良设计在产品造型方面, 圆角化处理的一体机提高了产品的友好感; 在交互体验方面, 借助 VR 技术结合故事 (游戏) 设计, 增加了患儿在进行康复训练的兴趣与参与感, 产品在改良后优化了使用流程与交互方式, 详细如下。

1) 云端数据库和智能化训练匹配。专科医生将患儿的病例和测评信息发送至仪器的云端数据库, 康复师录入患儿身份识别信息后, 云端数据库可对患儿的个人情况进行分析并智能推荐合适的训练计划, 康复师在操作面板上确认相应的训练计划受后, 电脑会将主动、被动、助力等模式信息发送到控制电路板上。在训练过程中, 仪器上的控制电路板能通过电机上的传感器探测肌张力, 存储并分析相关数据。患儿完成

一个阶段的康复训练后,电脑对控制电路板发来的传感器数据进行分析 and 计算,将个人的本次训练信息上传至云端数据库保存,随后将采集到的肌张力、里程、动力、速度等信息显示在 VR 头显及外接显示屏上,让康复师和患儿对这一阶段的康复训练有直观了解。

2) 沉浸式的故事(游戏)训练环境。控制电路板会利用传感器实时采集踏板的转速,并发送到电脑上。电脑端的交互式内容会根据控制电路板传来的踏板转速,进行相应的计算并实时渲染出 VR 眼镜中的 3D 画面,再通过 HDMI 和 USB 线传输到 VR 眼镜上。患儿在 VR 模式下,能够在沉浸的环境中实时感受到踏板速度的变化,并与 VR 内容交互。康复师可以在操控面板上实时更换训练模式,电脑接收到操控面板上的信号后,实时变更 VR 交互式内容,并下发数据给控制电路板,实现在主动、被动、助力等模式之间无缝转换。

3) 故事(游戏)的情节与训练形式相结合。VR 的交互式内容是一系列的激励故事型游戏,根据训练阶段性的特点,匹配不同的故事情节,如青蛙过河(被动—低竞技)、农场养殖(助力—中竞技)、拔河比赛(主动—高竞技)等。在训练过程中,机身尾部两侧的摄像头会识别患儿动作完成的标准程度,如未能按标准完成或未能在规定时间内完成,则会在 VR 场景中提示“加油”、“再做一次”等鼓励型话语和声音,增强患儿继续训练的信心。

### 3 结语

综合了 TOC 理论和 TRIZ 理论各自的特点和优点,将 TOC 理论中的当前现实树和冲突解决图表与 TRIZ 理论中的冲突解决工具相结合,提出了一种基于 TOC 和 TRIZ 集成的产品交互体验改良设计与流程。将其具体应用于儿童下肢康复训练仪改良设计领域,为解决现有儿童下肢康复训练仪在使用过程中康复训练效果不佳的问题,并提出了可操作性的方法与流程,验证了该设计改良方法的有效性。将 VR 技术与故事(游戏)情节结合,同时借助智能控件和云端数据库的儿童下肢康复训练仪改良方案,提高了患儿参与意愿和训练的针对性,也从产品角度缓解了康复师供不应求的现状。

### 参考文献:

[1] 张璐. 综合性康复护理干预对脑瘫患儿运动功能及康复效果的影响[J]. 菏泽医学专科学校学报, 2018, 30(2): 76-78.  
ZHANG Lu. Effect of Comprehensive Rehabilitation Nursing Intervention on Motor Function and Rehabilitation of Children with Cerebral Palsy[J]. Journal of Heze Medical College, 2018, 30(2): 76-78.

[2] 曹培红. 阳光鹿童让 Cerebral Palsy Baby 站起来[J]. 社会与公益, 2014(10): 82-83.  
CAO Pei-hong. Sunshine Lutong Let Cerebral Palsy Baby Stand Up[J]. Society and Public Welfare, 2014(10): 82-83.

[3] RIZZO A. Tools from the Theory of Constraints[EB/OL]. (2005-02-22)[2020-03-13]. <http://www.Triz-journal.com/archives//997105/a/index.htm>.

[4] 华中生, 顾立白, 汪炜. 基于 TOC 与 TRIZ 的产品概念设计方法及应用[J]. 计算机集成制造系统, 2006(6): 817-822.  
HUA Zhong-sheng, GU Li-bai, WANG Wei. TOC & TRIZ Based Product Design Method and Its Application[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006(6): 817-822.

[5] STRATTON R, MANN D, Systematic Innovation and the Underlying Principles behind TRIZ and TOC[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 13(9): 120-126.

[6] Stephen R L. A Conceptual Design Tool for Engineers: An Amalgamation of Theory of Constraints, Theory of Inventive Problem Solving and Logic[D]. Norfolk: Old Dominion University, 2002.

[7] 杨智皓, 何邦贵, 杨朝丽, 等. 基于 TRIZ 及 TOC 理论的滤棒测径仪结构设计[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 79-83.  
YANG Zhi-hao, HE Bang-gui, YANG Chao-li, et al. Structure Design of the Diameter Measuring Gauge of Filter Rod Based on TRIZ and TOC[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 79-83.

[8] 韦子辉, 檀润华. 产品设计中多冲突问题解决过程研究[J]. 中国机械工程, 2010, 21(3): 263-267.  
WEI Zi-hui, TAN Run-hua. Multi-Contradictions Problem Solving in Product Design[J]. China Mechanical Engineering, 2010, 21(3): 263-267.

[9] 苑彩云, 刘英梅, 檀润华. 基于 TOC 和 TRIZ 的产品改进设计研究[J]. 机械设计, 2006(10): 17-21.  
YUAN Cai-yun, LIU Ying-mei, TAN Run-hua. Improvement Design of Products Based on TOC and TRIZ[J]. Mechanical Design, 2006(10): 17-21.

[10] 宋开红. 约束理论和 TRIZ 创新理论在螺杆泵技改项目中的应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.  
SONG Kai-hong. Application of TOC and TRIZ to the Improvement of PCP' Performance[D]. Tianjin: Tianjin University, 2006.

[11] 檀润华. TRIZ 及应用技术创新过程与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.  
TAN Run-hua. TRIZ and Application Technology Innovation Process and Method[M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.

[12] 陶裕仿, 吕丽贤. 项目教学法在产品改良设计课程中的应用研究[J]. 教育现代化, 2018, 5(4): 96-98.  
TAO Yu-fang, LYU Li-xian. Application Research of Project Teaching Method in Product Improvement Design

- Course[J]. Education Modernization, 2018, 5(4): 96-98.
- [13] 陈琼, 王俊勃, 姚旭, 等. 产品改良设计的策略研究[J]. 工业设计, 2016(3): 93-95.  
CHEN Qiong, WANG Jun-bo, YAO Xu, et al. Strategy Research on Product Improvement Design[J]. Industrial Design, 2016(3): 93-95.
- [14] 韩卫国. 基于经济性原则的产品改良设计[J]. 机电产品开发与创新, 2009, 22(4): 50-52.  
HAN Wei-guo. The Reform Design of Product Based on the Principle of Economy[J]. Development and Innovation of Mechanical and Electrical Products, 2009, 22(4): 50-52.
- [15] DARRELL M. Physical Contradictions and Evaporating Clouds[J/OL]. Triz-journal, 2000(4): <http://www.systematic-innovation.com/assets/200004-physicalcontradictionsandevaporatingclouds.pdf>.
- [16] XU Xiao-Yan, SOLOMANI C. Product Design Problem-Solving by Integrating TRIZ and TOC[J]. Journal of University of Ence & Technology of China, 2005, 35.
- [17] 吕楠, 尚清, 马彩云, 等. 康复机器人对痉挛型脑性瘫痪患儿的康复效果[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2017, 20(7): 45-47.  
LYU Nan, SHANG Qing, MA Cai-yun, et al. Rehabilitation Effect of Rehabilitation Robot on Children with Spastic Cerebral Palsy[J]. Chinese Journal of Practical Nervous Diseases, 2017, 20(7): 45-47.
- [18] 杜佳音, 范艳萍, 李鑫, 等. 自制脑性瘫痪儿童下肢康复器的研制及临床效果[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(4): 430-432.  
DU Jia-yin, FAN Yan-ping, LI Xin, et al. Development and Clinical Effects of Self-Made Cerebral Palsy Children's Lower Limb Rehabilitation Device[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2017, 23(4): 430-432.
- 
- (上接第 59 页)
- [12] 赵文清, 侯小可, 沙海虹. 语义规则在微博热点话题情感分析中的应用[J]. 智能系统学报, 2014, 9(1): 121-125.  
ZHAO Wen-qing, HOU Xiao-ke, SHA Hai-hong. Application of Semantic Rules in the Emotion Analysis of Microblog Hot Topics[J]. Transactions on Intelligent Systems, 2014, 9(1): 121-125.
- [13] 陈二静, 姜恩波. 文本相似度计算方法研究综述[J]. 数据分析与知识发现, 2017, 1(6): 1-11.  
CHEN Er-jing, JIANG En-bo. Research Overview of Text Similarity Computing Methods[J]. Data Analysis and Knowledge Discovery, 2017, 1(6): 1-11.
- [14] 费洪晓, 康松林, 朱小娟, 等. 基于词频统计的中文分词的研究[J]. 计算机工程与应用, 2005, (7): 67-68.  
FEI Hong-xiao, KANG Song-lin, ZHU Xiao-juan, et al. Research on Chinese Word Segmentation Based on Word Frequency Statistics[J]. Computer Engineering and Applications, 2005, (7): 67-68.
- [15] 杨立公, 朱俭, 汤世平. 文本情感分析综述[J]. 计算机应用, 2013, 33(6): 1574-1578.  
YANG Li-gong, ZHU Jian, TANG Shi-ping. Overview of Text Emotion Analysis[J]. Computer Application, 2013, 33(6): 1574-1578.
- [16] 郭喜跃, 何婷婷, 胡小华, 等. 基于句法语义特征的中文实体关系抽取[J]. 中文信息学报, 2014, 28(6): 183-189.  
GUO Xi-yue, HE Ting-ting, HU Xiao-hua, et al. Extraction of Chinese Entity Relationship Based on Syntactic and Semantic Characteristics[J]. Journal of Chinese Information Processing, 2014, 28(6): 183-189.
- [17] Yogesh Sankarasu Bramaniam, Krishnan Ramanathan, Subhankar Ghosh. Text Summarization Using Wikipedia[J]. Information Processing and Management, 2014, (3): 75.
- [18] 祝帅. 设计学的社会科学化倾向与实证研究的兴起——兼论当代艺术设计研究的理论前沿与发展趋势[J]. 艺术设计研究, 2009, (4): 85-88.  
ZHU Shuai. Social Scientization Tendency of Design and Rise of Empirical Research: Theoretical Frontiers and Development Tendency of Contemporary Art Design[J]. Art Design Research, 2009, (4): 85-88.
- [19] 胡岷. 用户行为研究常用调查方法述略[J]. 成都理工大学学报, 2005, (3): 54-57.  
HU Min. Common Investigation Methods for User Behaviors Research[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2005, (3): 54-57.