Modeling and Simulation 建模与仿真, 2024, 13(1), 104-111
Published Online January 2024 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/mos
https://doi.org/10.12677/mos.2024.131011

基于Jack的儿童牙科椅人因研究及仿真分析

莫安蕊*，陆　琴#，刘　艳，韩冬晨，王卫星

贵州大学机械工程学院，贵州　贵阳

收稿日期：2023年10月30日；录用日期：2023年12月31日；发布日期：2024年1月9日

摘　要

本文旨在研究基于Jack的儿童牙科椅的需求，并进行仿真分析。通过对市场调研和用户需求分析，本文确定了儿童牙科椅的主要功能和特点。同时，结合人体工程学原理，设计出符合儿童生理特点的座椅尺寸和形状。在此基础上，利用Rhino软件进行三维建模，并在Jack软件中进行仿真分析。本文的研究成果为儿童牙科诊所提供了一种安全、舒适、实用的座椅选择，也为其他相关领域的产品设计提供了参考。

关键词

牙科儿童患者，牙椅设计，虚拟仿真，Jack

Research and Simulation Analysis of Pediatric Dental Chair's Human Factors Based on Jack

Anrui Mo*, Qin Lu#, Yan Liu, Dongchen Han, Weixing Wang

School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Oct. 30th, 2023; accepted: Dec. 31st, 2023; published: Jan. 9th, 2024

Abstract

This paper aims to study the demand for Jack-based pediatric dental chairs and conducts a simulation analysis. Through market research and user demand analysis, this paper determines the main functions and characteristics of children's dental chairs. At the same time, combined with the

*第一作者。
#通讯作者。

文章引用: 莫安蕊, 陆琴, 刘艳, 韩冬晨, 王卫星. 基于 Jack 的儿童牙科椅人因研究及仿真分析[J]. 建模与仿真, 2024, 13(1): 104-111. DOI: 10.12677/mos.2024.131011

principle of ergonomics, the size and shape of the seat that meets the physiological characteristics of children are designed. On this basis, Rhino software is used for three-dimensional modeling and simulation analysis is carried out in Jack software. The results of this paper provide a safe, comfortable and practical seating option for pediatric dental clinics, and also provide a reference for product design in other related fields.

Keywords

Dental Pediatric Patients, Dental Chair Design, Virtual Simulation, Jack

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

随着我国人民对口腔健康的重视程度的提升及消费意识与消费水平的增长，我国口腔市场正在快速发展，同时，我国儿童乳牙患龋率也随着人们生活水平提升不断增高。儿童牙科椅是一种专门为儿童设计的治疗设备，由于儿童在就医时常因“牙科焦虑症”产生紧张、害怕心理甚至表现出逃避治疗的现象，从而影响治疗效果[1]，因此，研究儿童牙科椅的人机工效性能并改良其设计，使其满足他们的身体尺寸和身心舒适度的需求，对于儿童就医体验和牙科医生的工作效率具有重要意义。

随着医疗技术的快速发展，现代牙科椅已经有了很大的改进，包括可调适的椅面、易于滑动的托腿板等[2]，但在儿童牙科椅的设计上，仍存在许多值得探讨的问题。近年来，虽然国内外有很多学者对儿童医疗器械的设计进行了广泛地研究[3]，但对于儿童牙科椅的人机工程学研究尚显不足。国内贺贝加[4]等的研究关注了儿童医疗器械的人机关系和情感化设计，但在进行器械调查时却没有针对牙科器械进行仔细分析。程杭[5]等探讨了医疗设备的可用性和使用安全性，却未将目光转向牙科椅。周彤[6]等的研究侧重了探讨牙科工作台设计的工艺结构和尺寸需求，但并未将研究的焦点投向儿童[7]。刘力卓[8]等利用人机工程学的知识，对成人牙科椅的设计进行了优化分析，得到一种匹配人体尺寸和手术姿态的牙科椅设计，但其研究的成果并无法完全适配到儿童群体[9]。

因此，本文以提高儿童在就医时的舒适度和牙医的工作效率为目标，利用 JACK 仿真软件对儿童牙科椅的设计进行分析评估，分析在儿童接受治疗过程中牙台和牙医椅的尺寸、角度和布局等是否满足使用者的舒适性要求以及人体工程学等问题，最终针对儿童牙科椅的设计提出具有指导意义的策略。并改进这款牙科椅的不足之处。通过本研究，有望为儿童牙科设备的未来设计提供宝贵的参考和指导，从而更好地满足儿童牙科医疗领域的需求，为儿童的口腔健康保驾护航。

2. 仿真流程

在建立基于 Jack 仿真软件的儿童牙科椅仿真分析时，需要满足两个核心条件，分别是建立仿真对象和建立仿真主体。首先，对于仿真对象，我们需要建立儿童牙科椅的数字模型。这个模型需要精确地反映儿童牙科椅的形状、尺寸、结构以及功能特点，以便能够真实地模拟其在各种情况下的表现。在研究中，我们通过 Rhino 三维建模技术，建立了一个儿童牙科椅的三维模型，作为仿真的对象。其次，对于仿真主体，我们需要建立儿童患者与牙医的数字人体模型。这些模型需要能够反映人体的大

小、形状、结构以及运动特点，以便能够真实地模拟患者在治疗过程中的生理和心理反应。研究中，我们使用了 Jack 软件的儿童人体模型和 Chinese 女性模型作为仿真主体，这些模型能够较好地满足我们的需求。

在满足这两个条件之后，我们就可以将建立的儿童牙科椅模型及儿童患者与成年牙医的人体模型导入 Jack 软件，进行仿真分析。这种分析方法可以帮助我们了解患者在治疗过程中的舒适度、牙医的工作状态以及整个治疗过程中的可视域等重要问题。

2.1. 儿童牙科椅模型的创建

本文旨在分析牙科儿童患者及牙科医生对儿童牙科椅的需求，并根据调研情况提出了以下满足需求的方式：儿童牙科椅子整体设计以星空为元素，模拟星际穿越的感觉，让儿童产生新奇感，忘记恐惧等不良情绪，牙椅后背可以调节角度，满足不同病患就医时的需求，同时牙台右侧的扶手可以放下，方便患者就坐。牙科椅设计灵感来源于星球，宽大的后背在保护医生腰部的同时，也能缓解医生就医时产生困倦、疲劳。通过这些方式，可以更好地满足儿童患者和医生的实际需求，提高就医效率。使用三维建模软件 Rhino 创建了儿童牙科椅的基础模型，儿童牙科椅的基本人机尺寸如图 1 所示。

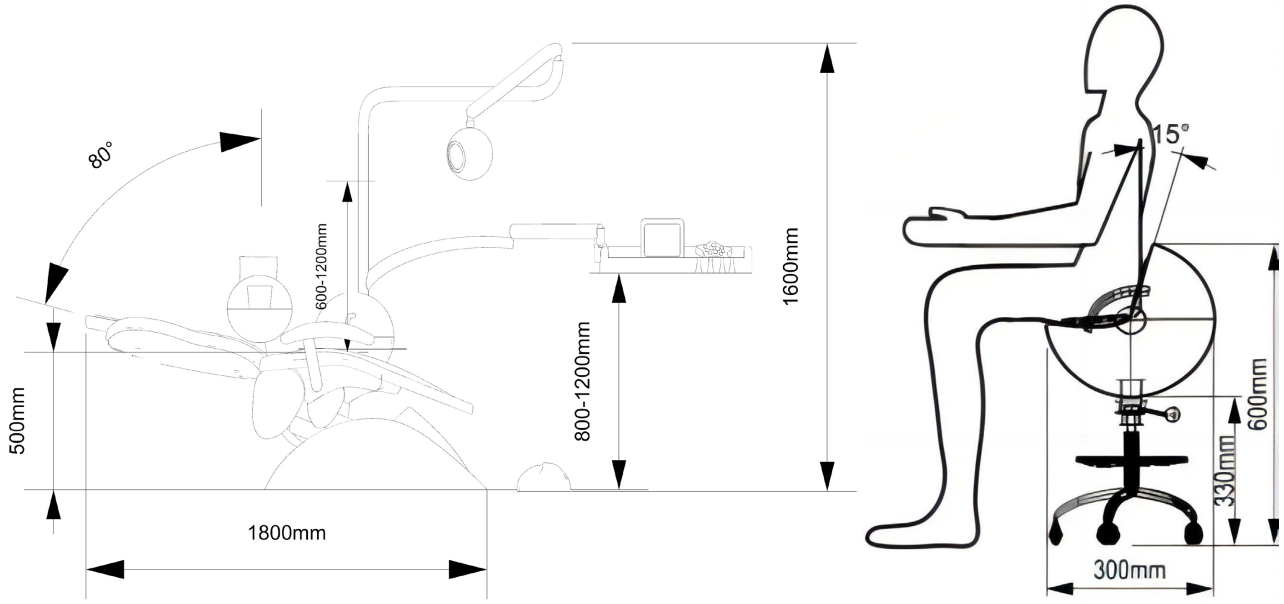
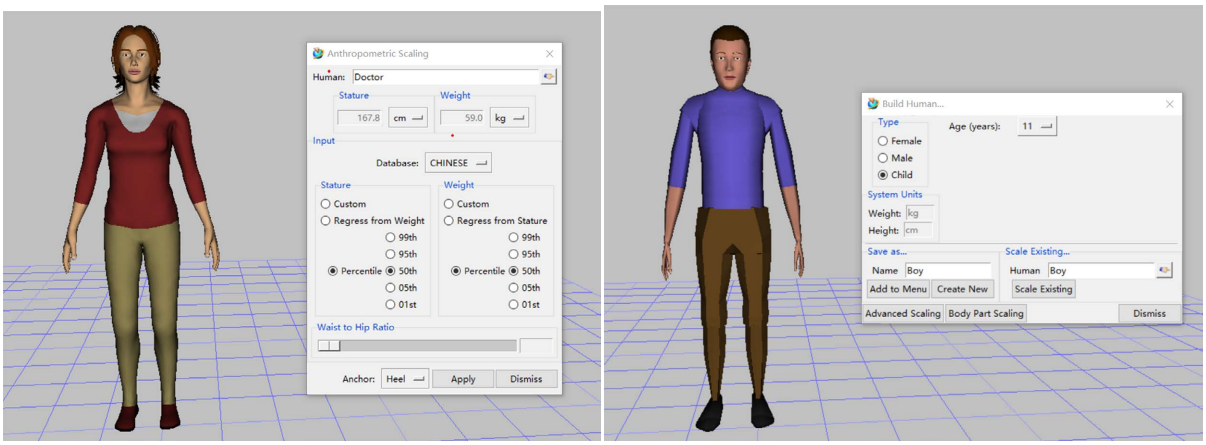


Figure 1. Man-machine dimension drawing of pediatric dental chair
图 1. 儿童牙科椅机尺寸图

2.2. 仿真人体模型的创建

通过 Jack 软件系统，我们可以进行人机工程学的模拟数据分析。这款工具拥有丰富的数据集，能够快速生成各种复杂的人机交互场景，并且可以根据不同的角度和方位进行自定义和优化。通过利用 Jack 的 CHINESE 数据库，我们可以创建成年女性牙医和儿童牙科患者的数字模型。成年女性牙医选择在 CHINESE 数据库中处于第 50 百分位的模型，代表牙医的平均数据设计时的目标用户为 10 到 12 岁的儿童，故使用 Jack 中 11 岁的儿童模型代表儿童的平均数据通过应用这些模型，我们可以由 Jack 软件中 Human control 模块分析牙台在两种不同状态下的使用舒适度，以及配套的牙医椅在使用时的性能表现，人体模型如图 2 所示。

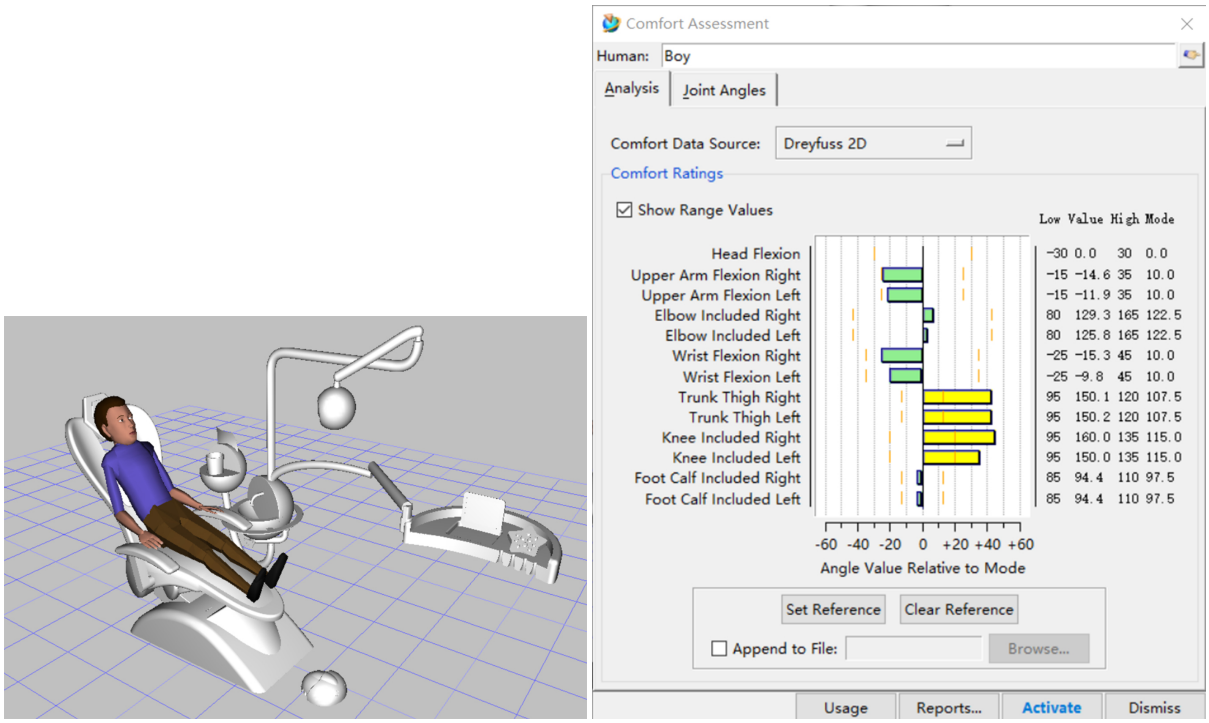


(a)医生模型创建　　(b)儿童模型创建

Figure 2. Human digital model
图 2. 人体数字模型

3. 基于 Jack 的仿真分析

3.1. 儿童半躺状态下的舒适性分析



(a) 儿童半躺姿势分析　　(b) 半躺状态下各关节受力图

Figure 3. Semi-reclined posture comfort analysis
图 3. 半躺舒适性分析

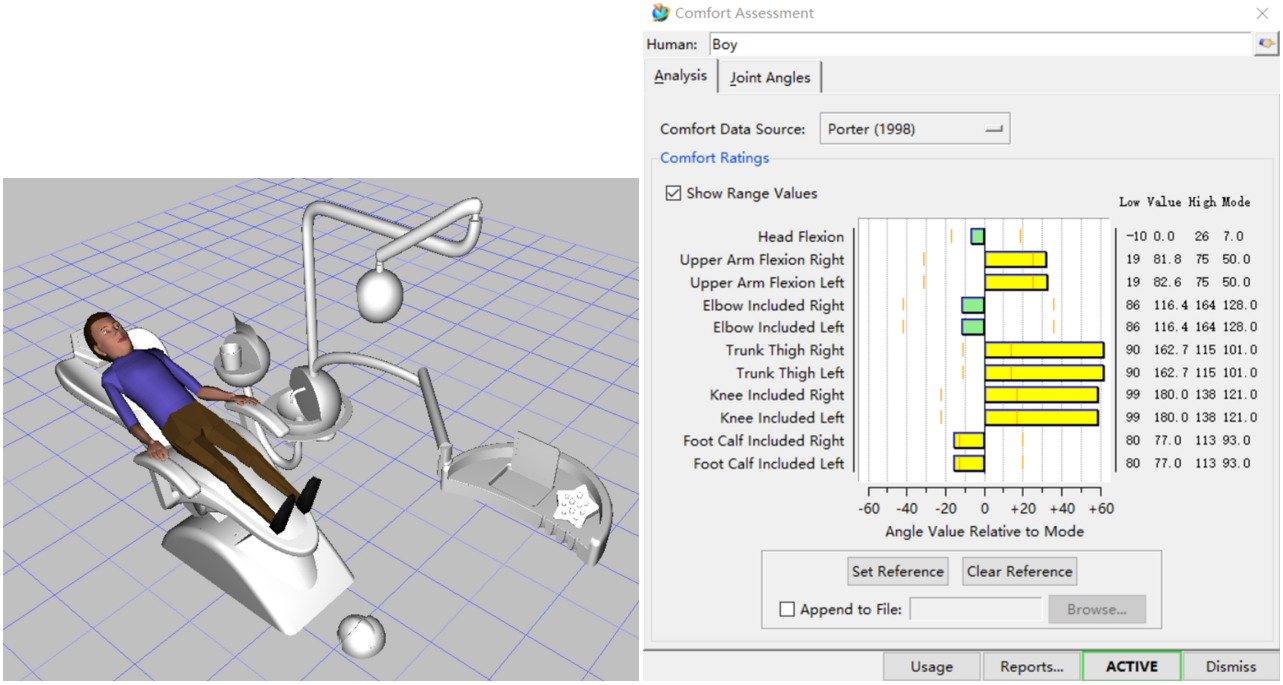
与成人相比，儿童在使用牙科椅时的耐心比较有限，牙台的舒适度对他们的治疗体验会产生较大影响。如果牙台不能调整到一个适合儿童的位置，或者牙台的设计不能支持儿童正确的姿势，长期下来可能会导致儿童的肌肉和骨骼感到不适[10]给他们的治疗体验带来负面影响。通过使用 Jack 软件中 OPT

(Occupant Packaging Toolkit)模块中的舒适性评价(Comfort Assessment)功能，选择 Dreyfuss2D 模型，模拟患者就医时半躺的姿势来研究儿童在半躺状态下各关节的舒适性，这是牙科治疗中最常用的姿势，所以本文首先研究了儿童患者在半躺情况下牙科椅的舒适性。

由图 3 的分析结果可以看出，在半躺的情况下，Upper Arm Flexion、Elbow Include、Wrist Flexion、Foot Calf Included 的舒适性都没有超出指标限定值，说明这些地方的支撑设计符合舒适度要求，即使长时间躺在牙椅上也不会有不适感。但 Trunk Thigh 和 Knee Included 处的指标远远超出指标限定值，即不在舒适度范围内，这说明大腿根部弯曲过渡不足，直接弯折角度太大导致，后期应该对躺椅根部部分进行改进设计。

3.2. 儿童全躺状态下的舒适性分析

虽然通过对半躺情况的仿真实验我们得到了比较有价值的数据，但全躺状态的仿真实验也有一定的必要性。因为半躺和全躺两种姿势适用于不同的治疗程序。比如，某些需要患者长时间保持静止的治疗可能会优选全躺状态，这样既可确保患者的舒适性，也方便医生工作[11]。针对不同的治疗程序，我们需要得到不同体位的分析结果来对数据进行全面评估，使后续儿童牙科椅的设计尽量地满足人体工学要求。这次我们同样使用 Jack 软件中舒适度评价(Comfort Assessment)功能进行仿真，选择 Dreyfuss2D 模型，舒适性分析结果如图 4 所示。



(a) 儿童全躺姿势模拟　　(b) 全躺状态下各关节受力图

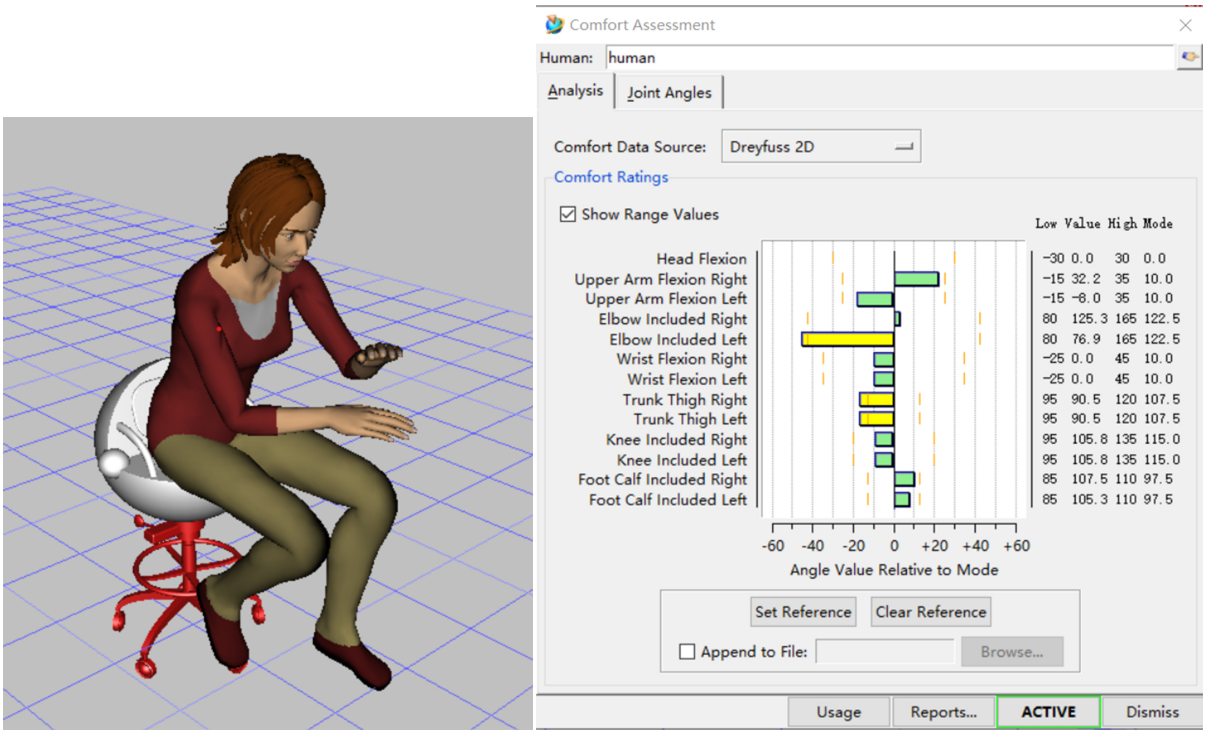
Figure 4. Fully reclined posture comfort analysis
图 4. 全躺姿势舒适性分析

儿童的 Head Flexion、Wrist Flexion、Foot Calf Included 的舒适性都在指标值内，即长时间使用也无不适感。Elbow Included 部分即手肘部分到基本达到舒适性要求，但 Trunk Thigh 和 Knee Included 的舒适性同样出现了问题，这说明该牙椅在可调节处根部过于下沉，大腿根部无法很好贴合儿童身体曲线造成，需要在后续进行改良设计。

3.3. 牙医工作状态下的舒适性分析

在牙医工作状态下，牙医椅的舒适性对于保持工作效率和健康同样重要[12]。长时间处在不适宜的坐姿，会导致肌肉疲劳、增加骨骼压力，甚至可能诱发脊柱问题，所以优化牙医工作椅的设计以增进坐姿舒适度，对提升他们的工作效率和职业健康非常关键。为了全面评估牙医椅在工作状态下的舒适度，我们使用同样 Jack 软件 OPT (Occupant Packaging Toolkit)模块中的舒适度评价(Comfort Assessment)功能，选择 Dreyfuss 2D 作为数据来源来研究医生在坐姿状态下对牙椅进行操作的舒适度，以分析设计的合理性。

综合模拟结果如图 5 所示，这款牙医椅在工作状态下的舒适度满足基本需求，与上肢有关的 Upper Arm Flexion、Wrist Flexion 以及与腿部有关的 Knee Included 与 Foot Calf Included 都没有超过指标标定值，说明牙医在使用时能保证基本的身体舒适，提高工作效率。Trunk Thigh 因为高度问题，导致大腿根部的舒适度指标略超出正常值，这说明工作椅设计时的高度与躺椅高度没有进行很好的匹配，导致医生不得不通过大幅度屈腿才能使上肢处于高效的工作姿态。同时可以明显看出，手肘部分的设计并不有效，也不符合人机，牙医在操作过程中手肘部分得不到放松与休息，这也是为什么 Elbow Inclueded Flexion 的仿真指标略超出舒适区指标，后期需要对椅子把手的部分重新进行设计。为了进一步改进舒适度，可以在后期设计过程中继续考虑对椅子扶手的高度、角度及材质等方面进行优化。



(a) 牙医工作坐姿模拟　　(b) 坐姿状态下各关节受力图

Figure 5. Dental chair comfort analysis
图 5. 牙医椅舒适性分析

3.4. 牙医工作状态下的可视域分析

牙科椅的设计需充分考虑到牙医在操作过程中的视野和舒适性。当牙医为儿童患者提供治疗时，需要观察和分析儿童的口腔状况并进行相应的治疗。这就要求牙科椅设计能够确保牙医在操作过程中有充足的可视域，从而减少误诊和漏诊的风险[13]。为了全面分析牙医在使用儿童牙科椅过程中的可视域情况，

本文利用人体工程学分析软件 Jack 中的 Visual Fields 工具，模拟了牙医为儿童患者进行治疗时的视觉范围，如图 6 所示。

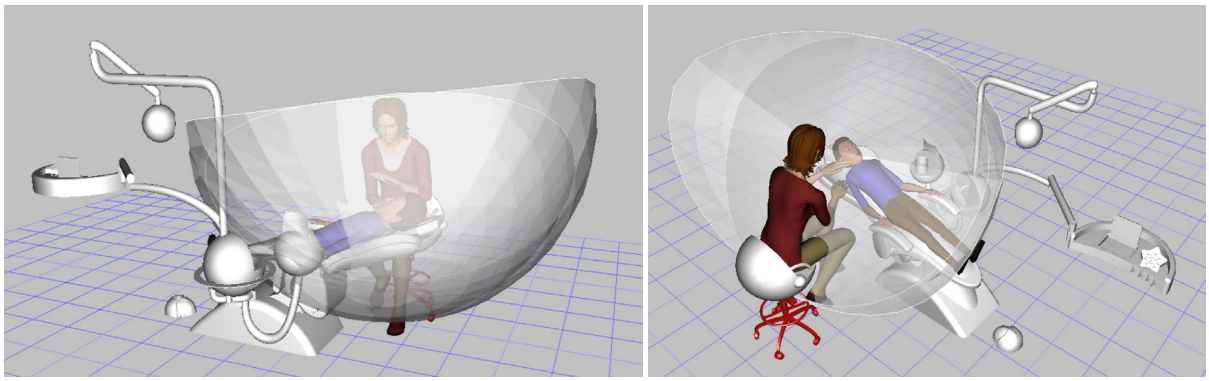


Figure 6. Field of view
图 6. 视野范围

从图 6 可以看出，儿童牙科椅的高度和角度设计能够确保牙医在对儿童进行口腔检查和治疗时有良好的视角和视线。牙医的视野范围涵盖了整个儿童的口腔区域，可视域范围能够满足对儿童整体观察工作的需求，并且在视线舒适和操作便利方面完全满足使用条件。这有利于确保牙医为儿童提供高质量和安全的治疗服务，提升治疗效果。

3.5. 牙医工作状态下的可达域分析

牙科椅与医生工作椅在操作上的联动在设计时是需要重点考量的对象，当牙医为儿童患者提供治疗时，要求工作椅的设计能确保牙医在操作过程中能使手部能充分覆盖儿童口腔周边空间，对于这个问题，我们使用 Jack 软件中 Analysis 模块下的 Reach Zones 分析功能，因为右手一般承担着控制灯光，操作工具等高频作业的负担，相比左手需要更多的活动空间，于是对医生进行右手的可达域分析。取右手手掌为轨迹点，建立右手的运动区域进行分析，我们就可了解医生在工作椅上手部操作的可达范围，以确保医生的工作能够正常进行，结果如图 7 所示。

(a) (b) (c)

Figure 7. Reachable domain range analysis
图 7. 可达域范围分析

由图 7 三个方位的观察可以看到红色范围即是医生右手的可达区域，可以看到红色区域并没有覆盖灯光操作区域以及儿童口腔区域。在医生靠近儿童头部附件的坐姿操作方式下，右手呈现的可达域在人

体感相对舒适的坐姿工作状态下下仍然不能满足牙医使用时的工作以及操作要求，若要顺利完成操作需要将身体大幅度前倾，这并非合格的人机设计，这证明工作椅的尺寸设计不合理，并不能满足牙医的工作要求，故工作椅需要在高度，宽度，以及人体曲线适配度上做大幅修正才可能满足基本工作要求。

4. 结束语

通过 Jack 仿真软件的模拟和分析，我们对一款专门为儿童设计的牙科椅进行了深入研究，以满足他们在牙科治疗过程中的舒适度和安全需求。模拟结果显示，儿童牙科椅在舒适度和牙医的可视域方面均取得了良好的表现，在提高儿童患者的治疗体验和牙医的工作效率方面做出了贡献。然而，我们也认识到，细节方面仍存在改进的空间，即牙椅根部的设计下沉严重，为保证视觉曲线完整而放弃了儿童使用时的舒适度。同时医生工作用椅的设计也过于理想化，仅仅为医生提供一个简单的臀部支撑并不能减轻医生在长时间工作时的疲劳感与不适感。且工作椅的高度与牙椅的高度同样没有很好地匹配，导致医生在工作时可能得不到很好的放松。在今后的研究中，我们建议与人体工程学原理保持紧密对接，结合实际临床和使用环境，对儿童牙科椅的设计进行更细地调整，如椅身高度、角度和曲线设计等元素，以此优化儿童患者的舒适体验，同时让牙医的健康姿势和清晰视野得以保障。

我们期待未来的研究能够针对当前存在的问题采取更多有效措施，为儿童牙科椅的优化设计贡献力量，从而提高儿童患者和牙医在牙科治疗领域的满意度和福祉。

基金项目

贵州省科学技术基金重点项目，编号：黔科合基础-ZK [2023]重点 015，面向车载终端自然人机交互控制的用户共识手势动作图像识别研究，2023-01-01~2026-12-31。

参考文献

[1] 李健，薛婉婷，刘红英，等. 保护性固定口腔治疗下低龄儿童心理反应的研究[J]. 河北医药，2021，43(17): 2636-2639.

[2] 陈娜，赵华，王照红，等. 儿童医疗器械相关压力性损伤原因分析与预防措施[J]. 齐鲁护理杂志，2023，29(10): 157-159.

[3] 张清. 基于情感化设计的儿童牙科综合治疗台研究[D]: [硕士学位论文]. 阜新：辽宁工程技术大学, 2021.

[4] 贺贝加. 儿童医疗器械情感化设计研究[D]: [硕士学位论文]. 北京：北方工业大学, 2019.

[5] 程杭. 儿童牙科正畸服务中深度体验设计研究[D]: [硕士学位论文]. 无锡：江南大学, 2018.

[6] 周彤，张文昕. 基于用户体验的牙科椅再设计研究[J]. 产业创新研究, 2021(20): 28-30.

[7] 陈艳艳，董继先. 牙科综合治疗机造型设计中的感性研究[J]. 工业设计, 2018(1): 68-69.

[8] 刘力卓，张文，何明，等. 基于人机工程学的牙科椅舒适度改善研究[J]. 工业工程, 2018, 21(3): 100-108.

[9] 胡志刚，孙泽明，马园园. 牙科椅不同俯仰角度的人体舒适度研究[J]. 包装工程, 2017, 38(16): 108-112.

[10] 顾玉红，姚宁，戴红军，等. 快速康复理念在儿童口腔早期龋充填项目中的应用效果[J]. 南通大学学报(医学版), 2023, 43(4): 388-390.

[11] 杨宏锦，葛朝宣，孙庆宁，等. 基于儿童友好型理念的儿童口腔门诊建设实践与探讨[J]. 江苏卫生事业管理, 2022, 33(6): 797-799.

[12] 陈亚明. 制取印模之体位与姿势探讨[J]. 中华老年口腔医学杂志, 2005(2): 101-103.

[13] 杜样，陈宇江，汪璐璐，等. 儿童口腔医生对乳牙有瘘型根尖周炎治疗方法选择的问卷调查分析[J]. 中国实用口腔科杂志, 2022, 15(2): 179-183. https://doi.org/10.19538/j.kq.2022.02.010