

doi: 10.3969/j.issn.1007-7375.2018.03.013

基于人机工程学的牙科椅舒适度改善研究

刘力卓, 张 文, 何 明, 韩玉琪

(燕山大学 经济管理学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 为了提高牙科就诊患者在牙科椅上就诊的舒适度, 本文以牙科椅为研究对象, 以人机工程学为理论依据, 运用仿真软件Jack, 建立数字人模型, 对牙科椅进行建模与仿真。对牙科椅座面、靠背、头托、扶手等主要部件尺寸及患者舒适度进行仿真分析, 并在此基础上提出改善方案。结果表明: 通过对牙科椅基本尺寸的重新设计, 可以建立更加适合我国就诊患者身材尺寸的牙科椅模型, 提升患者就诊舒适度。

关键词: 牙科椅; 数字人; 舒适度; Jack软件; 人机工程学

中图分类号: Q984 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-7375(2018)03-0100-09

An Improvement Research on Comfort of Dental Chair Based on Ergonomics

LIU Lizhuo, ZHANG Wen, HE Ming, HAN Yuqi

(Economic and Management Institute, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: In order to improve the comfort of dental patients in the dental chair, with the dental chair as a research object and ergonomics as the theoretical basis, the dental chair is modeled and simulated with the digital human by the software Jack. Emulating the main components of the dental chair of different sizes, such as the seat, back, head support and armrests, the comfort change of patients is analyzed, and the improvement design put forward. The result shows that a new designed dental chair model which fits the physical size of Chinese patients more perfectly can be built by redesigning the basic sizes of the dental chair, and the comfort of dental patients can be improved.

Key words: dental chair; digital human; comfort; Jack software; ergonomics

牙科椅是口腔医疗的基础设施, 在牙科医生为患者进行诊疗时, 用于承载患者, 并调整患者到适合医生完成治疗操作的合适位置和姿态。由于牙科诊疗的特点, 通常使患者在牙科椅上较长时间保持相同姿势, 大多数患者会在紧张焦虑的情绪下接受医生治疗, 而舒适的治疗座椅和合理的就诊姿势能够有效帮助患者减轻心理压力, 配合医生高效完成治疗过程。随着技术提高和人们生活水平的改善, 牙科椅除了满足基本的治疗功能外, 患者的舒适度和人性化的使用方式越来越成为人们追求的目标。因此, 在牙科椅的设计上, 如何将“人”的因素作为重要关注点, 从人机工程学角度对牙科椅进行分析与改进, 使患者更加舒适、满意地完成牙科诊

疗过程, 是一个迫切需要解决的问题。

在对座椅舒适度的研究上, 国外较为领先。早在20世纪初期国外学者就对座椅舒适度开始了相关研究。Shackel等^[1]将人在不同条件下的生理参数、劳动者的动作要素、一定时间内的工作效率和描述人体主观感受的调查结果作为度量舒适感的4种依据, 进而应用在座椅的舒适性设计上。Mehta等^[2]提出并建立了基于生物力学的舒适度座椅设计的基本模式。Griffin等^[3]研究了靠背形态与人体结构的关系, 以及靠背形态对座椅舒适性的影响。在我国, 王丽君等^[4]将座椅的外观、尺寸和乘坐者的舒适性联系起来, 研究人体压力的分布情况与座椅外观形态之间的相关性。李姝瑶等^[5]从汽车静止和行驶两

收稿日期: 2017-12-08

基金项目: 河北省科学技术研究与发展计划资助项目(14457667D)

作者简介: 刘力卓(1971-), 女, 河北省人, 教授, 硕士, 主要研究方向为人因工程、港口物流。

通讯作者: 张文(1994-), 男, 河北省人, 学士, 主要研究方向为人因工程. E-mail: zw-1994@qq.com

种状态研究了汽车座椅的舒适性。王殊轶等^[6]选择不同的靠背倾角通过测试者主观感受和客观肌电与压力检测研究患者舒适度的变化。刘力卓等^[7]运用Jack对我国和谐号动车座椅的舒适性进行了仿真分析, 并提出了改进方案。通过查阅文献发现, 我国在对如牙科椅等特殊座椅的研究上文献数量较少, 而在实际生活中, 患者对就诊过程舒适度体验的要求却越来越高。因此, 本文从人机工程学角度对牙科椅进行分析与改善具有非常重要的现实意义。

1 Jack软件

Jack是由美国宾夕法尼亚大学开发的人机工程学仿真软件。该软件主要通过人体建模技术和仿真方法将人体力学、医学、运动力学、工程学不同领域的内容结合起来, 以数字人建模为核心, 辅助工业产品以“人”为中心的设计和工作场所符合人体力学的优化^[8-9]。Jack拥有包含了美、中、日、德等多个国家的三维人体模型数据库, 能够定量地对不同姿势和动作下的数字人进行人机工程学分析^[10]。

2 基于Jack的牙科椅就诊模型建立

2.1 数字人创建

本文中使用的中国人群模型是国家标准GB10000-88中的中国成年人尺寸数据。由于条件制约, 任何工业产品的设计只能以满足绝大多数人的使用情况为目标, 并结合具体设计目的选用合适的人体百分位数据^[11]。根据国家标准中对产品尺寸设计类型的划分, 牙科椅属于I型与人的健康、安全相关的产品, 选用中国成年男性P99、男性P50、女性P1数字人作为主要设计依据^[12]。3种不同百分位的数字人分别代表大、中、小三种身材的牙科就诊患者, 建立的数字人模型如图1所示。

2.2 牙科椅实体的导入

目前医院和牙科诊所中使用的不同品牌牙科椅结构基本相同, 不同品牌牙科椅的差别多在于供能装置和集成治疗器械的种类上^[13]。本研究选择市场占有率较高的某进口品牌连体牙科椅作为仿真对象, 通过查阅产品说明书及对产品外形的实地测量得到牙科椅的尺寸及技术参数, 如表1所示, 以此作为仿真模型的参数。

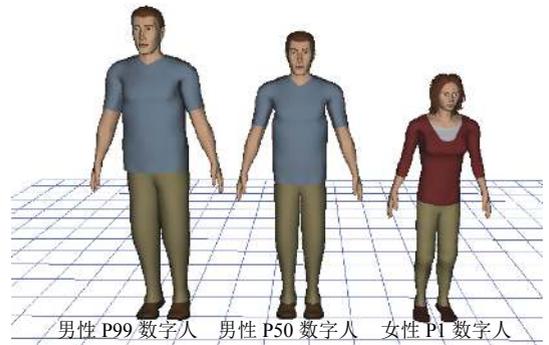


图1 不同身材的数字人

Fig.1 Digital human of different figures

表1 某品牌牙科椅的尺寸及技术参数

Tab.1 Size and technical parameters of a brand dental chair

项目	规格	项目	规格
座面离地面最低高度/mm	≤480	靠背长度/mm	410
座面离地面最高高度/mm	≥800	头托长度/mm	206
靠背后倾范围/(°)	110~170	头托宽度/mm	211
头架上下滑动行程/mm	120	扶手长度/mm	245
座面宽度/mm	496	扶手宽度/mm	58
座面深度/mm	510+596	扶手高度/mm	202
靠背宽度/mm	542		

利用SolidWorks对连体牙科椅CAD模型进行调整, 导入Jack仿真环境, 对实体的位置、约束和数字人的姿态进行设置和调整, 完成患者就诊静态仿真模型, 如图2所示。



图2 患者就诊静态仿真模型

Fig.2 The static simulation model of patients being treated

3 牙科椅基本尺寸的分析与改进

现在, 国内各医院和牙科诊所中使用的牙科椅

大多来源于进口，少数国产牙科椅在尺寸设计上直接参考国外产品的标准。由于我国和西方国家在人体体型上有一定差别，造成了牙科椅基本尺寸在设计上存在不适合我国人体情况的问题。利用Jack中的中国成年人数据进行建模仿真，对牙科椅的基本尺寸进行分析与改进，使其更加适合我国就诊患者。

3.1 座面宽度

牙科椅的座面需要较为宽裕的空间，以使在牙科椅上的患者能够灵活调整姿势。由于女性的臀部宽度一般大于男性，故选择女性P99臀部宽度作为座面宽度的设计依据^[14]。数字人的人体尺寸可以通过Jack中数字人的“精确尺寸”功能调用，如图3所示，得到女性P99数字人的臀部宽度为367 mm。

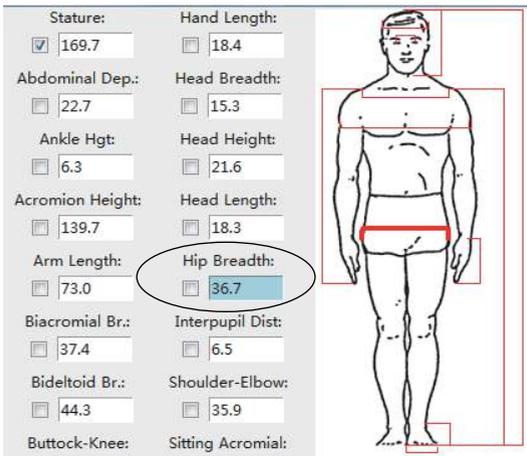


图3 数字人的精确尺寸

Fig.3 The exact size of digital human

由于在牙科椅的使用过程中一些患者习惯将双手下垂放置于大腿两侧，并且在设计中使用的身体数据并未考虑患者衣服的厚度，所以在得到座面宽度数据的基础上需要增加一定修正量。在367 mm的基础上身体两侧各增加20 mm修正量，对最终结果取整，得到座面宽度为 $367+20\times 2\approx 410$ mm。表1中原牙科椅模型的座面宽度为496 mm，大于410 mm较多，余量较大，一方面增加了牙科椅的占地面积，给医生的活动空间增加障碍，另一方面较大的座宽使患者双臂向躯干两侧屈伸，增加肩部的不适感，影响患者舒适度。

3.2 座面深度与座面曲线

牙科椅的座面除了有支撑大腿和臀部的作用外，还为小腿提供支撑。牙科椅的座面形状如图4所示。



图4 患者大腿和小腿的支撑面倾角

Fig.4 The supporting surface inclinations of the patient's thighs and calves

当牙科椅座面是水平时，大腿和小腿支撑面的倾角均为 0° ，不同身材的患者腿部均能与椅面贴合，但是这时候患者的舒适度体验最差。如果对大腿支撑面设置一个后倾的夹角，能够防止坐在牙科椅上的患者在治疗过程中臀部向前滑动，而且能够将身体的一部分压力分布在靠背下部，降低疲劳程度。同时，小腿支撑面向下倾斜一定角度，使小腿沿着座面自然弯曲。有研究表明，当大腿支撑面倾角增加时，需要相应地增加小腿支撑面倾角，否则会使乘坐者腿部的韧带产生不适感^[15]。在两个角度增大的过程中，座面中间的弯折角度越来越小，座面满足不同尺寸身材的人的范围逐渐缩小，如图5所示，会出现患者腿部与两个支撑面不能完全贴合的情况。因此，在牙科椅座面的设计时，选择较小的大小腿支撑面倾角，可以更大程度地满足使用人群。

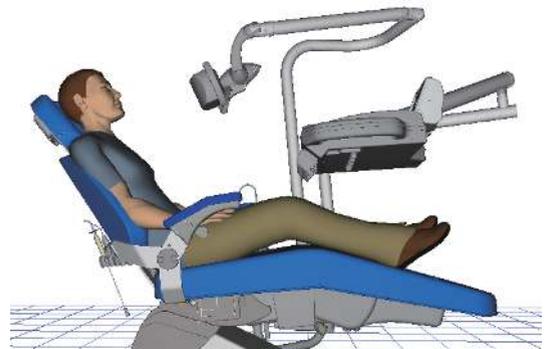


图5 患者腿部不能与椅面完全贴合的情况

Fig.5 The condition that patient's legs can not fit perfectly with the seat surface

原牙科椅模型座面的大腿支撑面倾角为 10° ，小腿支撑面倾角为 16° 。为了确定使患者更舒适的座面曲线，找到使患者最舒适状态下的两个支撑面的倾角，选择男性P99数字人对不同倾斜角度的座

面进行仿真, 利用Jack中的座椅舒适度分析工具和Krist舒适度数据源, 找到最舒适的座面倾角。仿真过程中牙科椅其他不相关部件保持原始状态不变, 仅将两个座面倾角作为变化量。

首先忽略牙科椅的小腿支撑部分, 假设牙科椅是只有一个大腿支撑面的普通座椅。小腿自然下垂与地面呈90°, 忽略牙科椅的高度假设数字人的双脚能接触到地面, 对不同倾斜角度的大腿支撑面进行仿真。通过仿真分析大腿支撑面倾角为6°、8°、10°、12°、14°时的患者舒适度情况, 确定大腿支撑面倾角变化对舒适度的影响。其中, 男性P99数字人在牙科椅模型初始状态即大腿支撑面倾角为10°时的舒适度检验结果, 如图6所示。

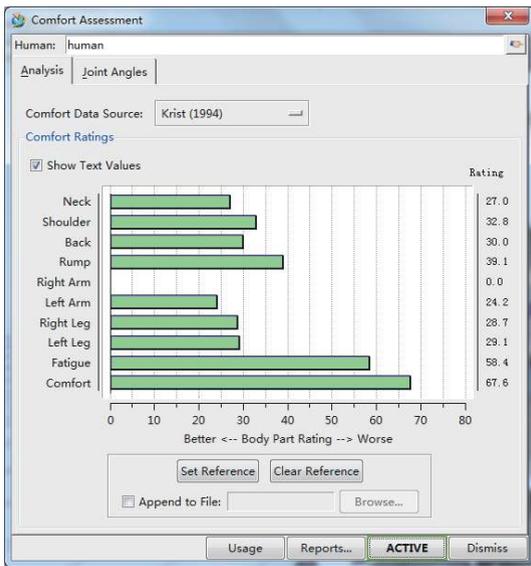


图6 男性P99数字人大腿支撑面倾角为10°的舒适度检验

Fig.6 Comfort assessment of the thigh supporting surface inclination of 10° on the 99th percentile men

对大腿支撑面倾角为6°、8°、10°、12°、14°时的舒适度情况分别进行仿真分析, 将得到不同身体部位的舒适度检验结果统计入表2中, 如下所示。舒适度数值越小表明舒适性越好。

为了更直观地显示出大腿支撑面倾角变化对不同身体部位舒适度的影响, 将不同大腿支撑面倾角下的舒适度检验结果绘制成折线图, 如图7所示。其中纵轴代表舒适度, 横轴代表大腿支撑面倾角。

从图7中可以看到, 随着大腿支撑面倾角的增加, 臀部舒适度逐渐变差, 臀部舒适度逐渐变好, 颈部、肩部、背部的舒适度没有明显变化。其中肩部和背部的舒适度有轻微变差的趋势。该部分仿真

表2 不同大腿支撑面倾角的舒适度检验

Tab.2 Comfort assessment of various angles of the thigh supporting surface inclination

部位	大腿支撑面倾角				
	6°	8°	10°	12°	14°
颈部	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
肩部	32.7	32.8	32.8	32.9	32.9
背部	30.0	30.0	30.0	30.1	30.1
臀部	34.3	36.7	39.1	41.3	43.5
臀部	25.3	24.8	24.2	23.7	23.3
腿部	27.2	27.8	28.7	28.7	28.9
疲劳度	57.6	58.0	58.4	58.8	59.2
整体	65.2	66.4	67.6	68.8	69.8

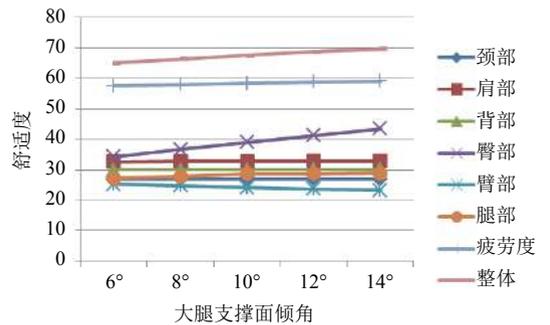


图7 大腿支撑面倾角对舒适度的影响

Fig.7 The influence of the angle of the thigh supporting surface inclination on the comfort

中由于未考虑小腿支撑面的情况, 因此腿部舒适度不作为该阶段的参考指标。数字人整体舒适度和疲劳程度都呈现变差的趋势。通过对不同大腿支撑面倾角的舒适度检验, 可以发现当大腿支撑面倾角为6°时, 人体感觉最舒适, 而且该姿势下的疲劳程度最低。因此, 确定大腿支撑面倾角为6°。

保持大腿支撑面的6°倾角和长度不变, 小腿支撑面倾角分别取4°、8°、12°、16°、20°, 选择男性P99数字人进行仿真分析。在调整数字人的姿势时, 仅改变数字人膝关节的弯曲程度使其适应不同的小腿支撑面倾角, 保证数字人上半躯体姿势不变。将不同小腿支撑面倾角的舒适度检验结果统计入表3中, 如下所示。

将不同小腿支撑面倾角下的舒适度检验结果绘制成折线图, 如图8所示。其中纵轴代表舒适度, 横轴代表小腿支撑面倾角。

表 3 不同小腿支撑面倾角的舒适度检验

Tab.3 Comfort assessment of various angles of the calf supporting surface inclination

部位	小腿支撑面倾角				
	4°	8°	12°	16°	20°
颈部	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
肩部	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7
背部	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
臀部	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3
臂部	40.9	39.9	39.2	38.1	37.4
腿部	15.5	16.3	16.8	17.7	18.2
疲劳度	56.7	56.8	56.8	56.9	56.9
整体	63.6	63.7	63.7	63.8	63.9

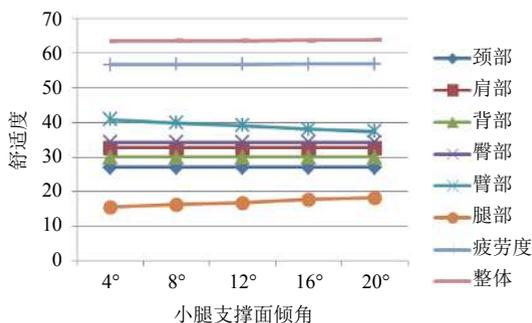


图 8 小腿支撑面倾角对舒适度的影响

Fig.8 The influence of the angle of the calf supporting surface inclination on the comfort

从图8中可以看到,随着小腿支撑面倾角的增大,颈部、肩部、背部、臀部的舒适度保持不变,臂部舒适度逐渐变好,腿部舒适度逐渐变差,数字人整体舒适度和疲劳程度也呈现变差的趋势。通过对不同小腿支撑面倾角的舒适度检验,可以发现当小腿支撑面倾角为4°时,人体感觉最舒适,而且该姿势下的疲劳程度最低。因此,确定小腿支撑面倾角为4°。

为了使椅面适用于更大范围的使用群体,对座面曲线和大小腿支撑面长度进行如下改善设计。根据上述过程确定的座面倾角,作倾角为6°和4°的平面相交于一条直线,如图9所示P点,两个平面分别代表大、小腿支撑面。以男性P50数字人为例进行研究,将数字人膝盖下方的腿底部转折处与P点对齐,取臀部底部为A点作为大腿支撑面的端点。利用男性P50数字人确定A、P点位置,使座面适合中型身材使用人群,如图9所示。

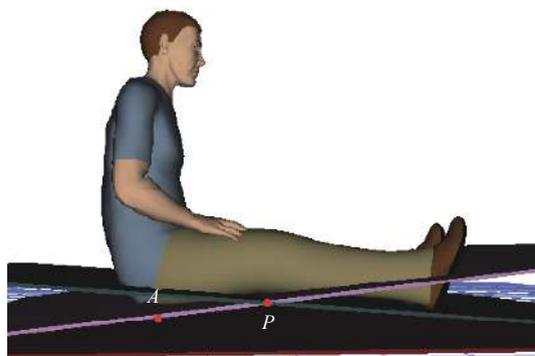


图 9 利用中型身材数字人对座面进行设计

Fig.9 Using the medium size digital human to design the seat surface

使用女性P1数字人为设计依据,将其臀部置于A点的位置,使其小腿与小腿支撑面完全贴合。此时女性P1数字人的大腿和大腿支撑面留有空隙,如图10所示。取其脚底部为C点,再取腿部转折处在大腿支撑面上的投影位置为B点,找到B、C点的位置确保小型身材的人腿部能够弯曲。

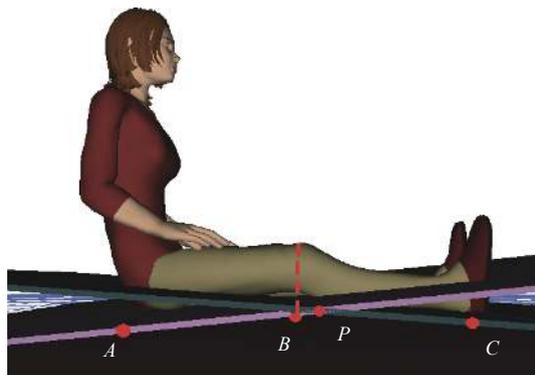


图 10 利用小型身材数字人对座面进行设计

Fig.10 Using the small size digital human to design the seat surface

以男性P99数字人为设计依据,将其臀部置于A点的位置,使其大腿与大腿支撑面完全贴合,小腿自然落在小腿支撑面上。由于男性P99数字人大腿长度大于AP,所以其小腿与小腿支撑面之间留有空隙。取其脚底部为D点,D点的位置使大型身材的人的整个腿部能够完全贴合在座面上,防止腿部悬空,如图11所示。

利用Jack的测量工具对各段距离进行测量,得到大小腿支撑面长度,AB为280 mm, BP为37 mm, PC为376 mm, CD为170 mm。将BP-PC段折线用平滑曲线代替,使其分别在B点与C点与直线AB、CD相切,即得到最终改善后的座面曲线如图12所示。

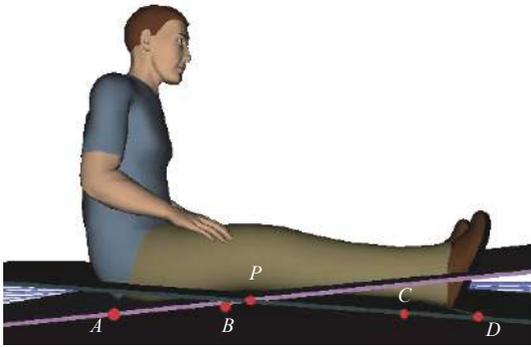


图 11 利用大型身材数字人对座面进行设计

Fig.11 Using the big size digital human to design the seat surface

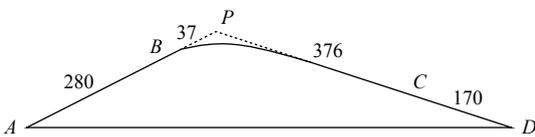


图 12 改善后的座面曲线示意图

Fig.12 Sketch map of the improved seat surface

3.3 靠背尺寸

牙科椅的靠背是承载患者重量的重要部分, 尤其是肩胛骨和腰椎是承担患者身体压力最大的两部分。靠背长度选择男性P99数字人的锁骨与座距677 mm为依据, 如图13所示。在677 mm的基础上增加患者衣服等因素的修正量10 mm, 取整后得到靠背长度 $677+10 \approx 690$ mm。靠背宽度选择男性P99数字人的身宽470 mm为依据, 躯干两侧各增加修正量10 mm, 得到靠背宽度 $470+10 \times 2 = 490$ mm。原牙科椅靠背长度为410 mm, 相较重新设计的靠背长度明显过小, 不能支撑大型身材患者肩部的压力, 且会增加患者肩部疲劳感, 应当加长至690 mm以减轻患者肩部和背部的不适感。而原牙科椅的靠背宽度为542 mm, 相较重新设计得到的靠背宽度偏大, 应减小至490 mm。

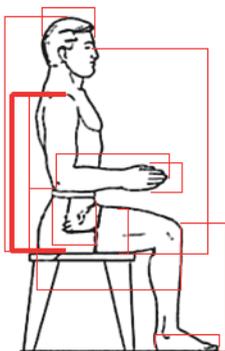


图 13 锁骨与座距

Fig.13 Sitting acromial height

3.4 头托尺寸

牙科椅的头托能够对患者的头部进行支撑, 根据患者身高的不同可以进行一定长度伸缩量的调整。由于头托不需要承载人的整个头部, 且头托过长会增加牙科医生就诊时与患者口腔的距离, 使医生需要身体向前弯曲来观察患者的口腔情况, 增加牙科医生的疲劳程度, 降低诊疗效率, 所以头托的长度应尽可能小。因此, 以女性P1数字人为设计依据, 其头长为202 mm, 对数据取整确定头托长度为205 mm。头托宽度由男性P99数字人为设计依据, 其头宽为158 mm, 两侧分别增加余量10 mm方便患者头部的左右转动, 取整后得到的头托宽度为 $158+10 \times 2 \approx 180$ mm。

为了确定头托的伸缩长度, 先计算出男性P99数字人的头部几何中心距座面的距离, 如图14所示, 用头与座距989 mm减去头长230 mm的一半, 得到 $989-230/2=874$ mm, 同理女性P1数字人的头部几何中心距座面的距离为 $816-101/2=765.5$ mm, 计算两个数字人该数值之差 $874-765.5=108.5$ mm, 取整后得到头托的伸缩长度为110 mm。

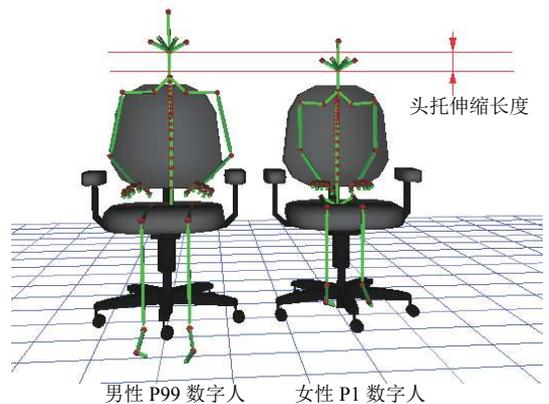


图 14 头托伸缩长度的确定

Fig.14 Determination of telescopic length of head support

3.5 扶手尺寸

牙科椅的扶手能够为患者臂部提供支撑, 减轻臂部由于重力作用给肩部造成的负担, 提高患者舒适性。同时, 扶手还可以为患者弯腰漱口或起身站立时提供支撑, 减轻腰部受力。以女性P1数字人为设计依据, 对扶手高度进行舒适度检验, 结果如图15所示。

通过仿真分析发现, 原牙科椅的扶手高度过低, 使患者臂部得不到完全支撑, 或需要患者将躯

干倾斜至躯干一侧使手臂得到支撑,不能完全发挥扶手的支撑作用。从图15中还可以看到,目前的扶手高度使患者肩部、背部和臀部的舒适性较差。如果通过略微提高牙科椅扶手高度,使其由202 mm提升至260 mm,改善后的扶手高度使女性P1数字人小

臂与上臂接近直角。这样使身高大于女性P1数字人的大部分患者小臂在扶手上略微向下倾斜,小臂与上臂之间角度略微大于 90° ,能够减轻肩部的疲劳感,如图16所示。增加扶手高度后使数字人颈部、肩部、背部及臀部的舒适性得到明显改善。

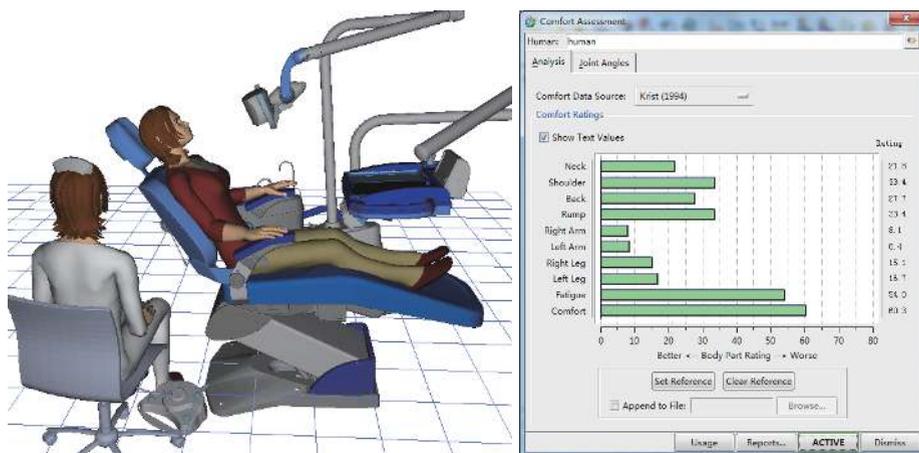


图 15 女性P1数字人对牙科椅扶手的舒适度检验

Fig.15 Comfort assessment of the dental chair armrest on the 1st percentile women

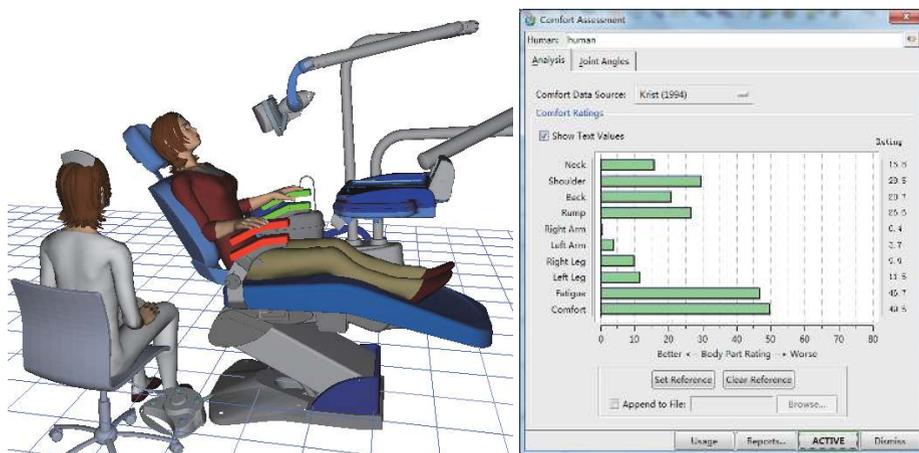


图 16 改善后女性P1数字人对牙科椅扶手的舒适度检验

Fig.16 Comfort assessment of the dental chair armrest on the 1st percentile women after improvement

扶手宽度用男性P99数字人的手臂宽度确定。用男性P99数字人的身宽470 mm减去锁骨宽401 mm得到两个扶手的宽度,取整后得到扶手宽度为 $(470-401)/2 \approx 35$ mm。原牙科椅的扶手宽度58 mm过大。

扶手长度应小于患者小臂的长度,以使患者的小臂与上臂之间保持大于 90° 的夹角,使小臂自然支撑在扶手上,防止因扶手高度不适使手臂屈伸带来的不适感。女性P1数字人的小臂长367 mm,取整确定扶手长度为370 mm。原牙科椅的扶手长度245 mm过小。

通过上述仿真分析,改善前后的牙科椅基本尺寸如表4所示。改善后的牙科椅符合中国成年人人体尺寸,在就诊时,牙科椅更加适合我国患者的身体情况,患者可以更加舒适地配合医生完成治疗过程。

4 结论

在医疗设施的设计中,以人为中心的设计理念越来越得到人们的重视。基于此,本文在针对市场

表4 改善前后的牙科椅基本尺寸对比

Tab.4 Comparison of the dental chair's basic dimensions before and after improvement

项目	改善前	改善后
座面宽度/mm	496	410
大腿支撑面倾角/(°)	10	6
大腿支撑面长度/mm	510	280+37(弧面)
小腿支撑面倾角/(°)	16	4
小腿支撑面长度/mm	596	170+376(弧面)
靠背长度/mm	410	690
靠背宽度/mm	542	490
头托长度/mm	206	205
头托宽度/mm	211	180
头托伸缩长度/mm	120	110
扶手高度/mm	202	260
扶手宽度/mm	58	35
扶手长度/mm	245	370

上大部分牙科椅依据西方人体情况设计而不完全适用于我国使用者的情况, 以及考虑到患者就诊时的紧张焦虑的情绪状态, 从宜人性和舒适性的角度出发, 运用人机工程学仿真软件Jack, 建立牙科椅就诊模型。模型主要以中国成年人人体数据为设计依据, 围绕提高患者舒适度来展开研究。

主要研究成果如下。1) 基于中国成年人尺寸数据, 对牙科椅的座面宽度、靠背长度、靠背宽度、头托长度、头托宽度、头托伸缩长度、扶手高度、扶手宽度、扶手长度等主要部件尺寸进行调整, 使牙科椅更适合我国就诊患者的身材尺寸, 极大地提高了患者的舒适度。2) 利用男性P99、男性P50、女性P1数字人对牙科椅座面深度及座面曲线重新设计, 可以有效解决不同身材患者在牙科椅上腿部不能与椅面完全贴合的问题, 使牙科椅座面的适用范围和舒适性明显改善。

本研究结果可为其他产品的设计提供借鉴, 研究方法也可为其他改善设计提供思路。

参考文献:

- [1] SHACKEL B, CHIDSEY K D, SHIPLEY P. The assessment of chair comfort[J]. Ergonomics, 1969, 12(2): 297-300.
- [2] MEHTA C R, TEWARI V K. Seating discomfort for tractor operators- a critical review[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2000, 25(6): 661-674.
- [3] QIU Y, GRIFFIN M J. Transmission of roll pitch and yaw vibration to the backrest of a seat supported on a non-rigid car

floor[J]. Journal of Sound and Vibration, 2005, 288(4): 1197-1222.

- [4] 王丽君, 张帆, 李黎. 座椅舒适度的测量方法研究[J]. 家具与室内装饰, 2012(12): 30-32.
WANG Lijun, ZHANG Fan, LI Li. Research on measurement method of seat comfort[J]. Furniture and Interior Decoration, 2012(12): 30-32.
- [5] 李姝瑶, 金昕. 人机工程学下车座椅舒适尺度设计研究[J]. 机械设计与制造, 2014(6): 188-190.
LI Shuyao, JIN Xin. Design and research of the car seat human scale of the ergonomics[J]. Machinery Design and Manufacture, 2014(6): 188-190.
- [6] 王殊轶, 于成龙, 杨鹏, 等. 牙科座椅倾仰角度调节对病人舒适性影响的综合研究[J]. 工业工程与管理, 2014, 19(5): 99-103.
WANG Shuyi, YU Chenglong, YANG Peng, et al. A comprehensive study of regulating dental chair seat back angle effecting on patient comfort[J]. Industrial Engineering and Management, 2014, 19(5): 99-103.
- [7] 刘力卓, 方兴祥, 赵义格. 和谐号动车座椅的人因学改善研究[J]. 工业工程, 2016, 19(5): 16-23.
LIU Lizhuo, FANG Xingxiang, ZHAO Yige. Improvement research of human factors on CRH seats[J]. Industrial Engineering Journal, 2016, 19(5): 16-23.
- [8] 钮建伟, 张乐. Jack人因工程基础及应用实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012. 7-10.
- [9] 于富洋, 孟伟, 薛庆. 返回舱充氧扳手安装过程人机工效分析及工艺改进[J]. 工业工程, 2016, 19(2): 143-148.
YU Fuyang, MENG Wei, XUE Qing. An ergonomics analysis and improvement of installation of return module oxygenation wrench[J]. Industrial Engineering Journal, 2016, 19(2): 143-148.
- [10] 曾满林, 戴礼强, 赵福全. 基于人机工程的汽车设计方法[J]. 工业工程, 2012, 15(5): 55-59.
ZENG Manlin, DAI Liqiang, ZHAO Fuquan. Application of ergonomics to automotive design[J]. Industrial Engineering Journal, 2012, 15(5): 55-59.
- [11] 赖泽鑫. 基于人机工程学的儿童牙科综合治疗台设计研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
LAI Zexin. The research and design of children dental treatment system based on ergonomics[D]. South China University of Technology, 2013.
- [12] 罗仕鉴, 朱上上, 孙守迁. 人体测量技术的现状与发展趋势[J]. 人类工效学, 2002, 8(2): 31-34.
LUO Shijian, ZHU Shangshang, SUN Shouqian. Current situation and development trend of anthropometry technology[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2002, 8(2): 31-34.
- [13] 孟巍. 口腔综合治疗台多重人机界面设计[J]. 中国医学装备, 2011, 8(8): 38-40.
MENG Wei. Design of multiple human-engineering interface for dental treatment center[J]. China Medical Equipment, 2011, 8(8): 38-40.

- [14] 高静, 钱省三, 王殊轶, 等. 人因学的港机驾驶室联动台可用性设计[J]. 工业工程, 2011, 14(1): 110-113.
GAO Jing, QIAN Xingsan, WANG Shuyi, et al. Ergonomics-based usability design of linkage control panels of the port machinery cab[J]. Industrial Engineering Journal, 2011, 14(1): 110-113.
- (上接第99页)
- [13] 李明珠, 何灿群, 卢章平, 等. 基于数量化理论 I 类的汽车意象造型设计研究[J]. 机械设计, 2016, 33(4): 105-108.
LI Mingzhu, HE Canqun, LU Zhangping, et al. Research on car image modeling design based on quantification theory type I[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(4): 105-108.
- [14] 雷英杰, 张善文. MATLAB遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2014.
LEI Yingjie, ZHANG Shanwen. MATLAB genetic algorithm toolbox and its application [M]. Xian: Xidian University Press, 2014.
- [15] PARK W, HAN S H, KANG S, et al. A factor combination approach to developing style guides for mobile phone user interface[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2011, 41(5): 536-545.
- [16] HSIAO S W, KO Y C. A study on bicycle appearance preference by using FCE and FAHP[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2013, 43(4): 264-273.
- [17] KOKANGÜL A, POLAT U, DAĞSUYU C. A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies[J]. Safety Science, 2017, 91: 24-32.
- [18] NILSSON E G. Design patterns for user interface for mobile applications[J]. Advances in Engineering Software, 2009, 40(12): 1318-1328.
- [19] NEIL T. Mobile Design Pattern Gallery: UI Patterns for Smartphone Apps [M]. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc, 2014.
- [20] NUDELMAN G. Android Design Patterns: Interaction Design Solutions for Developers[M]. Indianapolis: John Wiley & Sons, 2013.
- [21] SRĐEVIĆ B, PIPAN M, MELO P, et al. Analytic hierarchy process-based group assessment of quality-in-use model characteristics[J]. Universal Access in the Information Society, 2016, 15(3): 473-483.