



基于OpenPose学习坐姿分析的桌椅人机适应性研究

郭园, 郭晨旭, 时新, 申黎明

引用本文:

郭园, 郭晨旭, 时新, 等. 基于OpenPose学习坐姿分析的桌椅人机适应性研究[J]. 林业工程学报, 2020, 5(2): 179–185.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.201909016>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

办公座椅坐姿行为的聚类与分析

Clustering analysis of sitting posture on office chair

林业工程学报. 2018, 3(5): 158–164 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.2018.05.024>

基于瞳孔检测的座椅舒适度评价

Evaluation of chair comfort based on pupil detection method

林业工程学报. 2019, 4(2): 152–157 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.2019.02.024>

小径木重组材与家具设计的关联性研究

Study on small diameter wood scrimber and furniture design

林业工程学报. 2019, 4(1): 155–159 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.2019.01.023>

结构用指接材制造中工艺参数对齿梳表面粗糙度的影响

Effects of machining parameters on surface roughness of joints in manufacturing structural finger-joined lumber

林业工程学报. 2017, 2(4): 10–18 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.2017.04.002>

基于气象和时空因子的森林火险等级预测

Prediction of forest fire danger rating based on meteorological and space-time factors

林业工程学报. 2018, 3(3): 102–110 <https://doi.org/10.13360/j.issn.2096-1359.2018.03.017>

基于 OpenPose 学习坐姿分析的桌椅人机适应性研究

郭园^{1,2}, 郭晨旭², 时新², 申黎明^{1*}

(1. 南京林业大学家居与工业设计学院, 南京 210037; 2. 重庆交通大学, 重庆 400074)

摘要:运用非接触式 Kinect 运动捕捉系统及 OpenPose 二维姿势检测开源实时系统, 采集小学生坐姿行为中身体关键指标变化数据, 通过分析各个关键指标在不同任务及时间段内的具体变化情况, 总结人机适应的内在变化规律, 以便为后期的桌椅适应性调节方案提供可靠依据。结果表明: 颈部弯曲和视距受任务影响显著。书写任务下颈部弯曲均值大、视距小, 表现出较强的振幅频率, 且随时间延长有增长趋势。阅读任务和书写任务中的颈部弯曲超过 20° 的时间占比以及近距离用眼情况比较近似, 而在平板电脑任务中, 颈部弯曲数值则小于其他两项任务中的该数值, 视距也相对更大, 但躯干弯曲超过 20° 的时间增加, 其振幅频率变得突出, 说明躯干是使用平板电脑任务中变化性最大的身体部位。建议学习桌采用恰当方式引导小学生采用 45°~60° 竖立书本进行阅读, 以减少颈部弯曲, 加大视距。此外, 可以适时调整桌高满足书写到使用平板电脑任务的变换, 减缓躯干弯曲和振幅变化。

关键词: OpenPose; 坐姿; 学习桌椅; 人机关系; 适应性

中图分类号: TS664

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 2096-1359(2020)02-0179-07



Adaptability of study desks and chairs based on analysis of sitting posture using OpenPose

GUO Yuan^{1,2}, GUO Chenxu², SHI Xin², SHEN Liming^{1*}

(1. College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Using the non-contact Kinect motion capture system and two-dimensional posture detection open source real-time system (OpenPose), this study collected the data of key body indicators in sitting postures of primary school students, analyzed the specific changes of key indicators in different tasks and periods, and then summarized the inherent regulations of ergonomics adaptation, so as to provide reliable bases for the later adaptive adjustment of desks and chairs. The results showed that the neck flexion and visual distance were significantly affected by the tasks of writing, reading and using tablet PC ($P < 0.05$). In the writing task, the mean value of neck flexion became larger and the visual distance was shorter than the other two tasks, and the amplitude probability distribution function (APDF) was significant, which indicated that the neck was the most changeable body part in the writing task. In addition, the neck flexion tended to be increased as time went on in the writing and tablet PC tasks. In the reading and writing tasks, the time percentage of neck flexion exceeded 20° and visual distance were approximate, while in tablet PC task, the value of neck flexion was smaller than the former tasks, and the visual distance was relatively larger. However, the trunk flexion exceeded 20° and with the time increased, the amplitude probability distribution function (APDF) was significant, which indicated that the trunk was the most changeable body part in the tablet PC task. The mean value of trunk-thigh angle was the largest in reading task, which indicated that the body was relatively relaxed, but the value of neck flexion and visual distance was similar to the task of writing. It was suggested that the study desks should adapt to students to read by erecting books with the angles of 45°–60°, so that it would reduce neck flexion and lengthen visual distance. In addition, with the help of intelligent detection technology, according to the sitting posture data real-time acquired, the desk system adjusted height of desk in due course to meet the requirements from the writing task to the tablet PC task, which reduced trunk flexion and amplitude variation. For the unhealthy sitting posture, the desk system gave an audio reminder or other ways to help primary school students to maintain a healthy posture via the adaption of a dynamic balance.

Keywords: OpenPose; sitting posture; study desk and chair; ergonomics relation; adaptability

收稿日期: 2019-09-14

修回日期: 2019-10-14

基金项目: 重庆市教委科学技术研究项目(KJ1705137)。

作者简介: 郭园, 女, 副教授, 研究方向为家具设计与工程。通信作者: 申黎明, 男, 教授。E-mail: shenlimingda@hotmail.com

由于不良的坐姿将直接影响学生的骨骼及肌肉健康,因此,国内外人机工程、医疗等多领域的学者不断通过实验论证桌椅与使用者坐姿行为保持匹配关系的重要性,许多新兴技术及设备被持续引入到试验中,希望可以在用户与不断改进中的桌椅之间搭建科学动态的交互桥梁。

Kinect 作为一种骨架跟踪性能优异且价格低廉的非接触式运动捕捉系统,近年来逐步开始被国内外学者关注并加以应用。Manghisi 等^[1]使用深度传感器 kinectV2 进行实时的快速上肢评估 (rapid upper limb assessment, RULA); 孙辛欣等^[2]利用 Kinect 进行办公座椅坐姿行为的聚类与分析,这些研究的出现说明使用 Kinect 传感器进行姿态研究已逐步被家具等人机领域所认可。但在更为深入的坐姿测试研究中,Kinect 传感器配套的开发套件 SDK V2 存在捕捉点不稳以及肢体与环境区分受限等一些不足。而实际应用往往需要获取更为精准全面的坐姿数据,以帮助确定使用者与桌椅的实时适应情况。美国卡耐基梅隆大学 (CMU) 在 2017 年开发 OpenPose 二维姿势检测开源实时系统,可以实现对身体及五官等关键点精准稳定的捕捉,并且在经过大量试验和优化后,2018 年底发布的最新版本拥有了更加稳定的 API (application programming interface)^[3]。目前,OpenPose 尚处于应用开发的拓展期,Mazhar 等^[4]使用 OpenPose 构建手势检测实时人机交互框架;唐心宇等^[5]将 OpenPose 应用于渐进式康复训练情景交互之中。这些不同领域的学者都在努力挖掘 OpenPose 更广泛的应用空间,以期充分发挥其优势特性。因此,本研究选择 OpenPose 与 Kinect V2 传感器相结合,以获取更加理想的动态人体关键节点信息,帮助判断学生学习坐姿与桌椅的适应情况。

1 坐姿适应性试验判别指标的选取

本研究中的适应性是指小学生的坐姿行为与桌椅之间所形成的相辅相成的动态平衡关系,这种平衡由同化和顺应两种状态动态交替而成。同化是指人能够直接将桌椅作为自身的一个行为构成因素,纳入到自己动作的结构或组织中,即小学生的人体尺度等与桌椅基础属性相匹配,桌椅所表现出来的特征能够帮助其顺利完成动作。而顺应则是指人在与桌椅的互动过程中,改变自己的动作行为去适应桌椅及内外环境的变化,即小学生改变先前持续的坐姿去适应桌椅等外在状态的变动或内部身心舒适性的调整需求。同化适应与顺应适应的交替出现,同时也体现着人与家具之间一体化的概念。在本试验中主要获取同化适应状态中的相关数据,即身体知觉没有受到打扰时的坐姿数据,以便发现总结从同化适应到顺应适应转变时的内在变化规律。

本试验选取颈部弯曲、躯干弯曲、躯干大腿角、膝关节角以及视距等 5 项作为小学生学习坐姿适应性判别因素,其中颈部弯曲和躯干弯曲是被国外学者广泛认可的携式人体工学观察法 (PEO) 对于不健康坐姿认定的代表性特征^[6]。而躯干大腿角和膝关节角是国外研究学者常用的最佳坐姿认定参照标准之一^[7],适宜的视距同样关系着小学生学习行为的健康。因此在本试验中采用这 5 项指标作为适应性学习坐姿判断的标准,名称及定义见表 1,其中具体指标皆为矢状面的角度,所描述点的位置及角度见图 1 和图 2。由于试验采用 PEO 模型中的颈部弯曲和躯干弯曲参数没有统一界定,现有文献对躯干弯曲选取有两种不同的方法,本研究将同时采用两种方式进行数据采集,因此躯干弯曲参数分为躯干弯曲①和躯干弯曲②。

表 1 测试项目定义
Table 1 Definition of test items

项目	定义描述
视距	被试者眼睛到所视物体的直线距离
颈部弯曲	头部质心 (Head) 到颈部 (Neck) 的向量与重力向量之间的角度
躯干弯曲①	从颈部 (Neck) 到脊椎底部 (MidHip) 的向量和重力向量之间的角度 ^[8]
躯干弯曲②	任意坐姿 (HSP 坐姿) 下的躯干中心线与理想坐姿 (SPIP) 下的躯干中心线所形成的夹角 (这里的理想坐姿采用竖直坐姿) ^[9]
躯干大腿角	左/右膝盖点 (Left/RightKnee) 到左/右髋点 (Left/RightHip) 的连线和脊椎底部点 (MidHip) 与脊椎顶部点 (Neck) 连线在矢状面上正投影夹角
膝关节角	左 (右) 脚踝点 (Left/RightAnkle) 到左 (右) 膝盖点 (Left/RightKnee) 连线,与左 (右) 膝盖点 (Left/RightKnee) 到脊椎底部点 (L/RHip) 连线的夹角

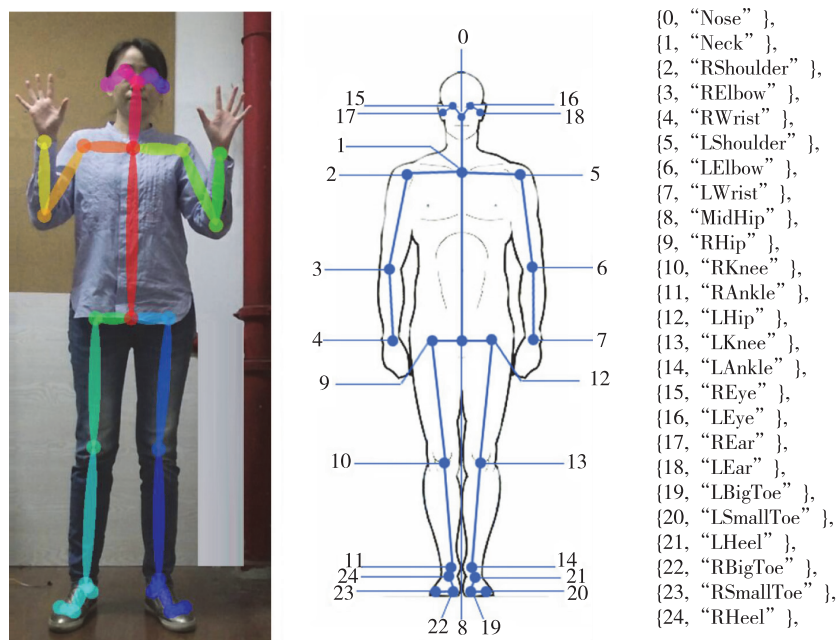


图 1 OpenPose 25 个关键点
Fig. 1 Twenty five joints in OpenPose

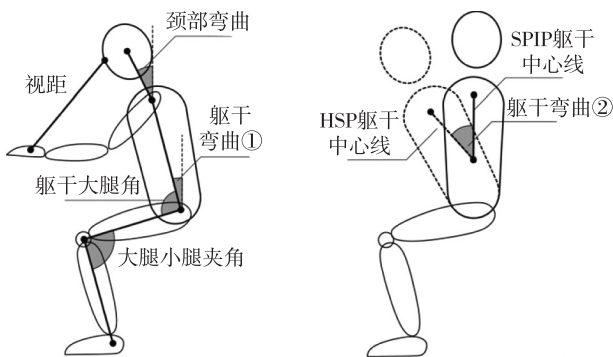


图 2 测试中的坐姿角度
Fig. 2 Angles of sitting posture



图 3 测试中 OpenPose 关键点识别
Fig. 3 Recognition of OpenPose key points

2 小学生学习坐姿适应性试验

2.1 试验设备与环境

本试验采用 Kinect V2 传感器,捕捉的每帧彩色图像分辨率为 1 920×1 080,深度图像分辨率为 512×424;惠普 (HP) 暗影精灵 3 代电脑:Core i5 8400,内存 8GB,GTX1060 6GB;桌椅采用市面上较为通用的可调节式小学生专用学习桌椅,桌椅品牌为科乐威尔 Z901 蓝桌+ KT1001 蓝椅(图 3)。

为了避免周围人员以及嘈杂环境对试验过程的干扰,试验选择在独立开阔的房间开展。试验使用的 KinectV2 放置在被试人员右侧的矢状平面上,设备与被试人员之间没有其他物体进行阻隔,两者间隔距离为 1.5 m,保证可以得到该方向下的正投影,以便于坐姿角度的获取。试验桌椅高度与角度,均会依据每位测试者实际身高、肘高、小腿加足高等数

据进行调节,桌面高度为坐姿肘高加 4 cm^[10],倾斜角度设置为 15°^[11],高度与角度设置的目的是使桌椅能够达到使用者实现同化适应的条件要求。

2.2 被试者

选取 12 名 1~6 年级小学生(6 男 6 女)作为被试者。参照 GB/T 26158—2010《中国未成年人人体尺寸》标准,其中身高位于 P5~P10 之间的 1 人,位于 P90~P95 之间的 1 人,位于 P25~P50 之间的 2 人、位于 P50~P75 之间的 3 人、位于 P75~P90 之间的 5 人,被试儿童均身体健康,无腰背疼痛病史,有正常的裸眼视力或矫正视力,均右手握笔,全程能够保持较为准确的握笔姿势,笔与纸面夹角约 50°,拇指、食指、中指执笔,且离笔尖 3 cm 左右,保证书写中不遮挡目光。测试前被试者无疲劳状态。测试仪器设备对被试儿童无任何伤害,全程征得家长及儿童同意,测试前获取被试者身高、

体质量、肘高、小腿加足高、膝高等人体尺寸数据, 结果见表2。

表2 受试者相关数据
Table 2 Statistical data of testees

项目	年龄/a	身高/cm	体质量/kg	肘高/cm	臀腠距/cm	小腿加足高/cm	膝高/cm
最大值	12	160.5	59.6	21	43	42.5	53.0
最小值	7	117.5	20.6	15	32	30.3	36.5
均值±标准差	9.4±1.8	141.1±12.3	37.3±11.8	18.3±1.74	37.9±3.5	36.9±3.6	45.4±5.1

2.3 试验准备

1) 试验第一步对 Kinect V2 进行标定, 通过标定以确保后期试验能够获取距离等数据。由于本试验需要使用 OpenPose 进行人体姿态识别, 同时为了保证后续试验过程的修正, 选择离线数据分析的形式, 因此无法使用 Microsoft Kinect SDK。而试验中需要获取三维空间中的视距, 这就首先需要对 Kinect 的两个相机进行标定, 获取彩色相机和深度相机的内参数矩阵 K_{rgb} 和 K_{ir} , 以及红外相机到彩色相机的旋转平移矩阵 R , 与平移向量 t , 以此来建立彩色图像-深度图像-相机空间坐标系之间的映射关系。

2) 使用 OpenPose 获取试验所需的身体关键点数据信息, 由于 OpenPose 定义的 25 个点不包含头部质心点, 而本试验测试需要该关键点, 因此需要使用二值图像的质心求法单独计算确定头部质心位置, 以保证获取试验所需的全部参照点。

3) 在确保程序能够正确识别所需全部关键点后, 开始录像, 每个受试者需要分别完成书写、阅读和使用平板电脑 3 种任务, 每项任务 15 min, 所完成内容为各个年级课业内容, 字体大小为正式出版教材及作业辅导材料常规字号。

3 坐姿数据计算与统计分析

3.1 数据计算方法

视距是眼睛与所视物体的距离, 试验中将检测到的书本在彩色图像坐标系中的坐标记作 $p_{rgb} = [x_1, y_1]^T$, 眼睛坐标记作 $q_{rgb} = [x_2, y_2]^T$, 利用坐标映射关系, 将其映射到相机坐标系, 记作: $p_{camera} = [u_1, v_1, w_1]^T$, 眼部在相机坐标系中的坐标记为 $q_{camera} = [u_2, v_2, w_2]^T$ 。

此时视距 d 即为 p_{camera} 与 q_{camera} 欧氏距离:

$$d = \|p_{camera} - q_{camera}\|_2 \quad (1)$$

坐姿角度即为两关节点连线与重力向量的夹角, 如图4左图。由于实验中 Kinect V2 被放置在被试者的矢状面, 所以可以使用关节点的矢状面投影来代替三维关节点, 即用关节点在彩色图像中的坐标进行计算。

两个相连线的关节在彩色图像中的投影点分别记作 $p_1 = [x_1, y_1]^T$, $p_2 = [x_2, y_2]^T$, 则其连线为 $l = [x_1 - x_2, y_1 - y_2]^T$, 而竖直方向可以用单位向量 $e = [0, -1]^T$ 表示, 可得出倾角 φ , 见公式(2):

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{l \cdot e}{\|l\| \|e\|} \right) \quad (2)$$

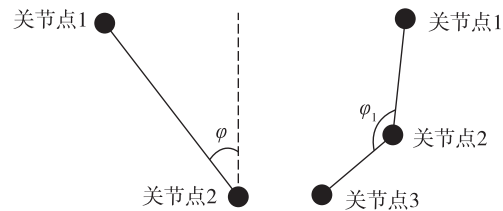


图4 倾角(左)与夹角(右)

Fig. 4 Inclination (left) and angle (right)

对于夹角: 如图4右图所示, 高低相邻的3个关节点中, 关节点1、3与关节点2连线所成的以关节点2为顶点的角, 即为所求的夹角。试验中同样使用彩色图像中的关节点坐标进行计算。关节点2的投影点 $p_2 = [x_2, y_2]^T$ 与关节点1的投影点 $p_1 = [x_1, y_1]^T$ 的连线记作 $l_1 = p_1 - p_2$, 关节点2与关节点3的连线记作 $l_2 = p_3 - p_2$; 则二者夹角 φ_1 见公式(3):

$$\varphi_1 = \cos^{-1} \left(\frac{l_1 \cdot l_2}{\|l_1\| \|l_2\|} \right) \quad (3)$$

3.2 统计分析

试验数据采集完成后, 经 SPSS 24 计算各项指标的均值以及振幅概率分布函数 APDF 的第90和第10百分位之间的差值, 即振幅范围的度量 $APDF_{(90-10)}$ [12]。并对各项指标的均值和 $APDF_{(90-10)}$ 值进行方差分析 (ANOVA), $P < 0.05$ 被认为是显著的。本研究同时使用 Matplotlib 进行数据可视化分析, 分析颈部弯曲和躯干弯曲、视距等3组数据在不同学习任务中及不同时间段的动态变化规律。

4 结果与分析

4.1 颈部弯曲

试验中不同任务下受试者颈部弯曲均值从大

到小依次是书写>阅读>使用平板电脑。任务对颈部弯曲变化的影响较为显著($P<0.05$),结果见表 3。在国外现有 PEO 研究模型中,颈部弯曲和躯干弯曲的 20°这一阈值被认定为健康坐姿的一项判

别参数,一些学者在应用研究中又增加了 45°这一阈值^[13]。在本试验中,颈部弯曲超过 20°和 45°的时间占比见表 4,数据说明书写状态下更易出现不健康的颈部弯曲角度。

表 3 不同任务的测试项目结果
Table 3 The results of test categories in three tasks

任务类型	颈部弯曲/(°)	躯干弯曲①/(°)	躯干弯曲②/(°)	躯干大腿角(左)/(°)	躯干大腿角(右)/(°)	膝关节角(左)/(°)	膝关节角(右)/(°)	视距/mm
书写	27.6±9.8	8.4±4.1	16.9±8.3	104.7±9.1	106.2±8.6	80.3±16.1	81.0±14.2	277.0±35.8
阅读	22.2±10.6	8.2±5.5	16.3±11.0	107.7±8.8	107.9±8.2	86.0±12.8	86.1±11.4	278.9±41.6
平板电脑	17.4±8.6	11.9±5.8	23.8±11.6	104.1±12.8	105.8±13.3	85.9±15.6	88.5±16.8	397.8±54.0
<i>F</i>	3.3	1.9	1.9	0.4	0.1	0.6	0.9	28.3
<i>P</i>	0.048	0.164	0.164	0.658	0.887	0.574	0.428	<0.001

表 4 3 种任务中颈部弯曲和躯干弯曲超过健康阈值的时间占比
Table 4 The proportion of neck flexion and trunk flexion exceeded the health threshold in three tasks %

任务类型	弯曲角度	颈部弯曲	躯干弯曲①	躯干弯曲②
书写	20°~45°	57.50	6.80	30.20
	>45°	9.90	0	3.60
阅读	20°~45°	45.60	5.90	29.40
	>45°	5.80	0	5.10
平板电脑	20°~45°	32.70	20.30	36.40
	>45°	3.30	0.10	13.90

颈部弯曲在 3 项任务下的振幅概率分布范围 APDF₍₉₀₋₁₀₎值见图 5 和表 5,任务对颈部弯曲的振

幅概率分布影响不显著,其中阅读状态的振幅概率分布与书写状态近似。较大的 APDF₍₉₀₋₁₀₎表示姿势发生较大的变化,从而反映出坐姿活动的变异性增加,即姿势不单调。而 APDF₍₉₀₋₁₀₎数值小,则说明姿势变化幅度小,国外一些学者也提出了无论是长时间重复的短周期振幅或几乎持续很长时间的相同振幅,这种缺乏变化的弯曲都与 MSD(musculoskeletal disorders) 风险有关^[14]。这也说明,如果颈部长时间保持一个弯曲角度不动或者持续相同幅度的弯曲变化对于小学生来说都会产生不适。此外,实验数据还显示出颈部弯曲在书写任务中随着时间延长而增大波动幅度,角度值有所增加。

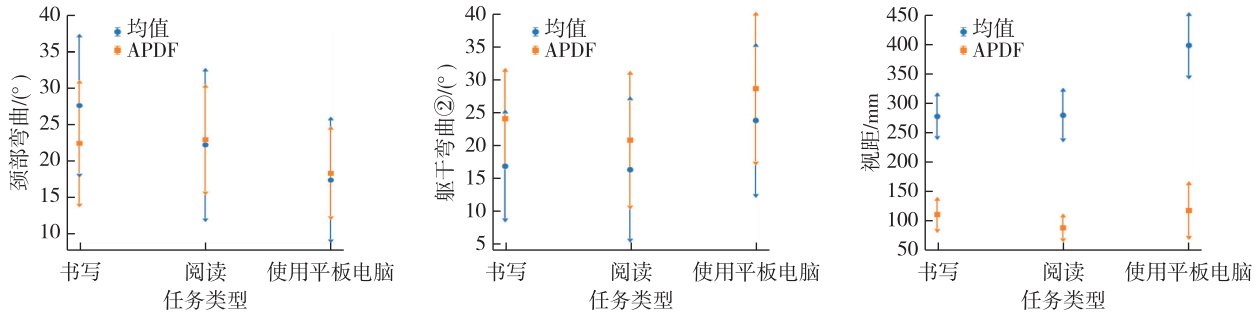


图 5 不同任务下颈部弯曲、躯干弯曲②、视距的均值和 APDF₍₉₀₋₁₀₎
Fig. 5 Mean and APDF₍₉₀₋₁₀₎ of neck flexion, trunk flexion, visual distance in different tasks

表 5 3 种任务下测试项目的振幅概率分布 (APDF₍₉₀₋₁₀₎)

任务类型	颈部弯曲	躯干弯曲①	躯干弯曲②	躯干大腿角(左)	躯干大腿角(右)	膝关节角(左)	膝关节角(右)	视距
书写	22.3±8.6	12.0±3.7	24.0±7.4	25.4±9.3	26.8±8.2	40.5±22.8	37.4±21.2	108.3±25.0
阅读	22.9±7.4	10.4±5.2	20.8±10.3	29.7±17.3	28.5±18.9	57.6±25.3	52.3±26.9	85.7±18.5
平板电脑	18.3±6.2	14.2±5.8	28.4±11.7	27.0±9.7	24.9±10.1	32.1±18.1	30.1±15.8	115.6±45.6
<i>F</i>	1.3	1.8	1.8	0.4	0.2	4.1	3.2	2.9
<i>P</i>	0.276	0.169	0.169	0.702	0.791	0.026	0.049	0.071

4.2 躯干弯曲

躯干弯曲角度均值见表3和图5。任务对躯干弯曲变化的影响不显著($P>0.05$)。躯干弯曲①和躯干弯曲②虽然是两种不同的界定方式,但最后数值所表现出来的趋势是相同的。躯干弯曲整体角度值变化相对平稳,试验中躯干弯曲②在使用平板电脑任务中超过 20° 和 45° 的时间占比大于其他两种任务,这也说明,在相同桌高的情况下,小学生习惯通过躯干弯曲来适应屏幕的高低,并且易出现超过 45° 的大幅度弯曲。

躯干弯曲振幅概率分布范围 APDF₍₉₀₋₁₀₎ 见图5和表5,使用平板电脑任务中躯干弯曲变化幅度大于同任务中颈部弯曲变化幅度,即平板电脑任务中躯干活动更为丰富。书写任务中则是颈部弯曲变化幅度大于同任务下躯干弯曲变化幅度,即书写时颈部活动更为丰富。

4.3 躯干大腿角

任务对躯干大腿角的影响不显著($P>0.05$),学生在坐姿过程中,双腿并不一定同步调整,时常会出现高低前后的差异,双脚有时会踩在座椅滑轮上,而非一直平放在地面,这就使得躯干大腿角(左、右)存在轻微差异,均值见表3。阅读任务下的躯干大腿角均值略大于其他两种任务下的该数值,相对更加接近 $120^\circ\sim 135^\circ$ 这个放松坐姿角度区间,说明学生在阅读纸质材料状态下的人体相对更加放松,躯干会自主寻找更加适应的舒适姿态。而使用平板电脑过程虽然也是一种阅读形式,但是躯干大腿角度与书写状态更为接近。

躯干大腿角振幅概率分布范围 APDF₍₉₀₋₁₀₎ 见表5。由于 Kinect 右侧放置,且 Kinect 从图像数据流里读取的图像是镜像呈现,使得左边数据相对更加精准。因此,以左侧数据为主要比较依据。

4.4 膝关节角

2种任务下的膝关节角(左、右)均值都没有达到 90° ,阅读与使用平板电脑状态下的膝关节角数值比较接近,大于书写状态(表3)。膝关节角振幅概率分布范围(APDF)见表5。任务对膝关节角振幅概率分布范围 APDF 值存在显著影响($P<0.05$)。

4.5 视距

视距均值见表3,任务对视距影响极显著 $P<0.001$ 。试验结果表明,在书写和阅读两种任务下近距离用眼程度较高。在我国儿童青少年近视眼防控方法规范中,日常需严格控制视距小于33 cm且大于45 min的持续近距离用眼。因此,减少近距离用眼的总量尤为重要^[15]。现有研究表明,颈

部角度数值的加大带来视距缩短,这与裸眼视力的下降有显著关系。试验中,3种状态下的视距与颈部弯曲关系见图6。使用平板电脑时,颈部弯曲值较小且视距相对较远,而阅读纸质书本时,大部分受试者采用平放书本方式进行阅读,因此视距与书写状态近似。视距振幅概率分布范围(APDF)见表5和图5。试验中书写和使用平板电脑任务中的视距整体随时间呈现明显下降趋势,说明近距离用眼逐步加剧(图7)。

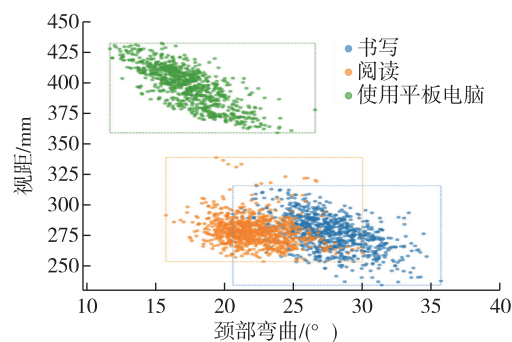


图6 3种任务下颈部弯曲和视距关系
Fig. 6 Relation of neck flexion and visual distance in three tasks

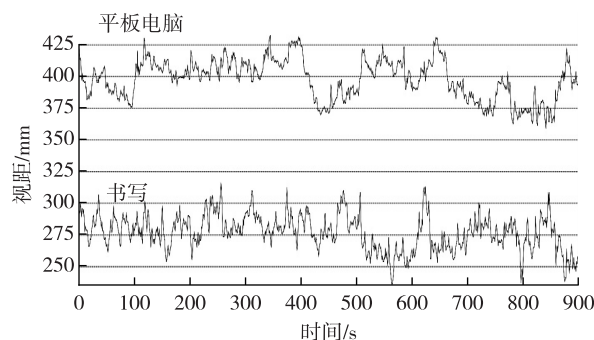


图7 视距随时间变化
Fig. 7 Visual distance variation at different time periods

4.6 同化适应向顺应适应转变中的桌椅调控建议

调节好的桌椅可以与小学生初始状态构成同化适应,但是在使用过程中,由于学习任务的变化以及身体局部疲劳感的出现,就会打破最初的同化适应,人体自身及外在环境都会产生变化要求。小学生可以感知到疲劳,但这个感知过程往往有延迟,并且感知度比较有限,例如对近距离用眼的感知较弱。在整个学习坐姿行为过程中,随着时间的延长,小学生会出现身体姿势不断变化的情况,这些都是人体主动改变进入顺应适应的表现,此刻的桌椅可以提供更加符合顺应适应要求的调整,尤其是在智能环境与监测技术介入后,桌椅可以根据实时获取的坐姿数据,运用数学方法进行不健康姿势判断,并通过语

音信息提醒功能或者使用微控制器开发的机构改变桌椅高低等状态,以缓解较大的颈部弯曲和躯干弯曲以及视距过近等问题。同时还可以通过合理的功能设置来引导儿童采用 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 竖立放置书本的阅读方式,以改善颈部弯曲和近距离用眼。这种桌椅的动态调控以及与使用者之间的实时交互将更好地实现持续健康的人机适应过程。

5 结 论

Kinect 与 OpenPose 结合可以精准捕捉小学生动态学习坐姿中的身体关键指标,帮助判断坐姿与桌椅的适应情况。试验中 3 种任务对颈部弯曲及视距影响显著,书写任务下的颈部弯曲均值最大并且振幅概率变化最为明显,说明颈部是书写任务中变化性最大的身体部位,并且该数值在书写和使用平板电脑任务中随时间延长有增长趋势。躯干弯曲在使用平板电脑过程中均值最大并且振幅概率变化最为明显,说明躯干是使用平板电脑任务中变化性最大的身体部位。躯干大腿角在阅读任务中均值最大,说明身体比较放松,但颈部弯曲和视距的数值却与书写状态比较近似,建议学习桌可以通过设计引导小学生变化阅读方式,以减少颈部弯曲和近距离用眼,对于监测到的不健康姿势给予及时提醒;同时可以适时调整桌高满足书写任务到使用平板电脑任务的转变,以帮助小学生保持更健康动态平衡的适应状态。

参考文献(References):

- [1] MANGHISI V M, UVA A E, FIORENTINO M, et al. Real time RULA assessment using Kinect v2 sensor[J]. *Applied Ergonomics*, 2017, 65: 481-491. DOI:10.1016/j.apergo.2017.02.015.
- [2] 孙辛欣,周颀,姜斌,等.办公座椅坐姿行为的聚类与分析[J]. *林业工程学报*, 2018, 3(5): 158-164. DOI:10.13360/j.issn.2096-1359.2018.05.024.
- SUN X X, ZHOU D, JIANG B, et al. Clustering analysis of sitting posture on office chair[J]. *Journal of Forestry Engineering*, 2018, 3(5): 158-164.
- [3] CAO Z, SIMON T, WEI S E, et al. Realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields[C]//2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), July 21-26, 2017. Honolulu, HI. New York, USA: IEEE, 2017. DOI:10.1109/cvpr.2017.143.
- [4] MAZHAR O, NAVARRO B, RAMDANI S, et al. A real-time human-robot interaction framework with robust background invariant hand gesture detection[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2019, 60: 34-48. DOI:10.1016/j.rcim.2019.05.008.
- [5] 唐心宇,宋爱国.人体姿态估计及在康复训练情景交互中的应用[J]. *仪器仪表学报*, 2018, 39(11): 195-203. DOI:10.19650/j.cnki.cjsi.J1803879.
- TANG X Y, SONG A G. Human pose estimation and its implementation in scenario interaction system of rehabilitation training[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2018, 39(11): 195-203.
- [6] FRANSSON-HALL C, GLORIA R, KILBOM Å, et al. A portable ergonomic observation method (PEO) for computerized on-line recording of postures and manual handling[J]. *Applied Ergonomics*, 1995, 26(2): 93-100. DOI:10.1016/0003-6870(95)00003-u.
- [7] FETTWEIS T, ONKELINX M N, SCHWARTZ C, et al. Relevance of adding a triangular dynamic cushion on a traditional chair: a 3D-analysis of seated schoolchildren[J]. *Clinical Biomechanics*, 2017, 49: 113-118. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2017.09.002.
- [8] MURPHY S, BUCKLE P, STUBBS D. Classroom posture and self-reported back and neck pain in schoolchildren[J]. *Applied Ergonomics*, 2004, 35(2): 113-120. DOI:10.1016/j.apergo.2004.01.001.
- [9] 郑泽铭.人的坐姿检测方法 & 行为劝导研究[D].杭州:浙江大学, 2013.
- ZHENG Z M. Sitting posture sensing and healthy behavior persuasion[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [10] 王丽君,李黎,张帆.基于 3D 运动捕捉系统的坐姿角度和舒适度研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2013, 33(12): 146-150. DOI:10.14067/j.cnki.1673-923x.2013.12.009.
- WANG L J, LI L, ZHANG F. Study of sitting posture angle and comfort based on 3D motion capture system[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2013, 33(12): 146-150.
- [11] GONÇALVES M A, AREZES P M. Postural assessment of school children: an input for the design of furniture[J]. *Work*, 2012, 41: 876-880. DOI:10.3233/wor-2012-0257-876.
- [12] STRAKER L M, COLEMAN J, SKOSS R, et al. A comparison of posture and muscle activity during tablet computer, desktop computer and paper use by young children[J]. *Ergonomics*, 2008, 51(4): 540-555. DOI:10.1080/00140130701711000.
- [13] GELDHOF E, DE CLERCQ D, DE BOURDEAUDHUIJ I, et al. Classroom postures of 8-12 year old children[J]. *Ergonomics*, 2007, 50(10): 1571-1581. DOI:10.1080/00140130701587251.
- [14] CICCARELLI M, STRAKER L, MATHIASSEN S E, et al. ITKids Part II: variation of postures and muscle activity in children using different information and communication technologies[J]. *Work*, 2011, 38(4): 413-427. DOI:10.3233/wor-2011-1168.
- [15] 黄馨慧,王明进,何鲜桂,等.184 名 8~12 岁儿童不同阅读距离及阅读时间调节滞后和调节反应的观察[J]. *川北医学院学报*, 2017, 32(1): 33-37. DOI:10.3969/j.issn.1005-3697.2017.01.010.
- HUANG X H, WANG M J, HE X G, et al. Observation of accommodative response and accommodative lag under different reading distance and reading time in 184 children aged 8-12 years[J]. *Journal of North Sichuan Medical College*, 2017, 32(1): 33-37.

(责任编辑 田亚玲)