

儿童乘坐安全座椅压力—舒适性探究

卢纯福, 刘晓萍, 唐智川

(浙江工业大学, 杭州 310000)

摘要: **目的** 探究儿童在乘坐安全座椅时背部与臀部接触区域的舒适性差异, 得出背部和臀部的压力舒适区域, 为今后的设计提供一定理论基础。**方法** 招募8名4~8岁的健康儿童作为被试, 让被试先后坐在三款儿童安全座椅上, 提取压力数据并做舒适性主观测试; 计算标准差检验座椅的稳定性, 进行配对样本t检验比较座椅间的差异性; 绘制压力—舒适性图像验证舒适与不适的区域。**结果** 在“瞬时”压力测试中C座椅界面压力分配方案最优, 与主观测试结果一致($C>B>A$)。在“10 min”的压力测试中, B座椅的峰值压力更稳定, A、C座椅无显著差异, 与主观测试结果不一致, 推测儿童对安全座椅的舒适性判断取决于入座时的第一印象。**结论** 实验结果表明4~8岁儿童在乘坐不同安全座椅时, 材质偏硬、坐面造型平坦的安全座椅对人体的压迫性更强; 材质偏软、包裹性强的安全座椅更贴合人机形态, 舒适性更高。

关键词: 坐姿; 舒适性; 压力测试; 安全座椅; 儿童

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)04-0127-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.04.017

Exploration of Pressure and Comfort of Children Sitting in Car Safety Seats

LU Chun-fu, LIU Xiao-ping, TANG Zhi-chuan

(Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310000, China)

ABSTRACT: The work aims to explore comfort differences in areas contacting back and buttock when children sit in car safety seats, so as to obtain the pressure and comfort area of back and buttock and provide a theoretical basis for future design. 8 healthy children aged 4 to 8 were recruited as subjects, seating in three kinds of children seats successively to collect pressure data and conduct subjective comfort test. Standard deviations were used to evaluate stability of the seats and paired sample t tests were performed to compare differences between seats. Pressure-comfort images were plotted to verify areas of comfort and discomfort. In an “instantaneous” pressure test, seat C exhibited an optimal pressure distribution profile, which was consistent with the subjective test results ($C>B>A$). In a “10 min” pressure test, peak pressure of seat B was more stable, and there was no significant difference between seats A and C, which was not consistent with the subjective test results. It was supposed that the judgment on the children’s comfort in safety seat depended on the first impression. When children aged 4 to 8 sit in different car safety seats, the safety seats with hard materials and flat seats produce greater pressure on the human body, while those with soft materials and tight wrapping accord with the request of ergonomics and are more comfortable.

KEY WORDS: sitting posture; comfort; pressure test; car safety seat; children

收稿日期: 2020-10-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61702454); 教育部人文社会科学研究“大数据环境下跨媒体信息情感挖掘及互检索应用研究”项目(17YJC870018); 浙江省属高校基本科研业务费专项资金资助项目(GB201901006); 浙江省自然科学基金项目(LY20F020028)

作者简介: 卢纯福(1970—), 男, 浙江人, 浙江工业大学教授, 主要研究方向为工业设计战略、产品创新设计、产品形态语意等。

通信作者: 唐智川(1987—), 男, 浙江人, 博士, 浙江工业大学副教授, 主要研究方向为脑机接口、人工智能与设计、人机交互、人机工程等。

道路交通伤害是全球造成死亡和残疾的一个主要因素。在我国，交通伤害是 0~14 岁儿童的首要死因^[1]。儿童安全座椅使用率低的主要原因包括家长安全意识淡薄和儿童抵制心理^[2]。

目前已有采用压力实验评估舒适性，对被试与载体间舒适或不适的关系进行判断和识别的研究^[3]，也有采用测量压力—疼痛阈值的方式来评估座椅上人体臀部、背部及肩部的舒适性差异的研究^[4-5]。针对压力实验的方法已有很多，包括分析人体与接触物体的界面压力分布来测试床垫的舒适性^[6]，以及通过评估坐面和靠背在不同坐姿下的压力参数与压力中心点变化设计的座椅，有效减少或预防腰背疼痛^[7-8]。然而，目前关于舒适性的研究主要面向汽车座椅或办公座椅，并且被试多为成年人。与儿童安全座椅相关的研究大多以提升家长安全意识^[9]及座椅结构方面的安全性验证^[10]为主，而涉及舒适性的研究比较空缺。Fong 等人使用视频评估法（DAB）量化了儿童在乘坐不同座椅时的一系列不适行为，结果表明儿童体验到的舒适感与父母正确使用儿童安全座椅的行为之间有显著关联^[11]。Wilfinger 等人认为对抗无聊是父母和孩子最重要的问题之一^[12]，Oren 等人为解决这个问题设计了一款名为“Mileys”的娱乐 APP，该游戏基于汽车行驶时的位置信息，通过虚拟现实展现车内外环境，供儿童与家长互动娱乐，从而增强家庭情感，提升儿童乘坐舒适体验^[13]。儿童与成年人相比，其生长尚不完全且受成年人主观控制，难以探寻其内心真正的想法^[14]，因此儿童的舒适性研究是一项特殊的挑战^[15]。

基于该挑战，本文让儿童乘坐坐在不同角度、不同软硬度、不同造型的儿童安全座椅中，采集并分析压力数据，探讨在自然姿势下，界面压力分布、峰值压力与时间的关系等对舒适性因素的影响，以及人体与坐面、靠背接触区域的舒适性差异，为未来儿童安全座椅软包的设计提供理论基础。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

根据《GB 27887-2011 机动车儿童乘员用约束系统》选择年龄在 4~8 岁、体重在 25 kg 以下的健康儿童作为被试，并编号（S1~S8）。4~8 岁的儿童处于交通事故高发阶段^[1]，他们具备一定逻辑思维能力，对待事物有自己的主观意识，能辨别好与坏且给予建议^[16]。在被试儿童及其父母知情且同意的情况下，收集了被试身高、体重、肩宽、腰宽、臀宽、大腿长等数据。为了实验数据的准确性，同时考虑到冬季的低温，要求被试身穿不超过两层的衣服（上身：秋衣及毛衣，下身：秋裤及外裤）。被试特征见表 1。

1.2 实验仪器

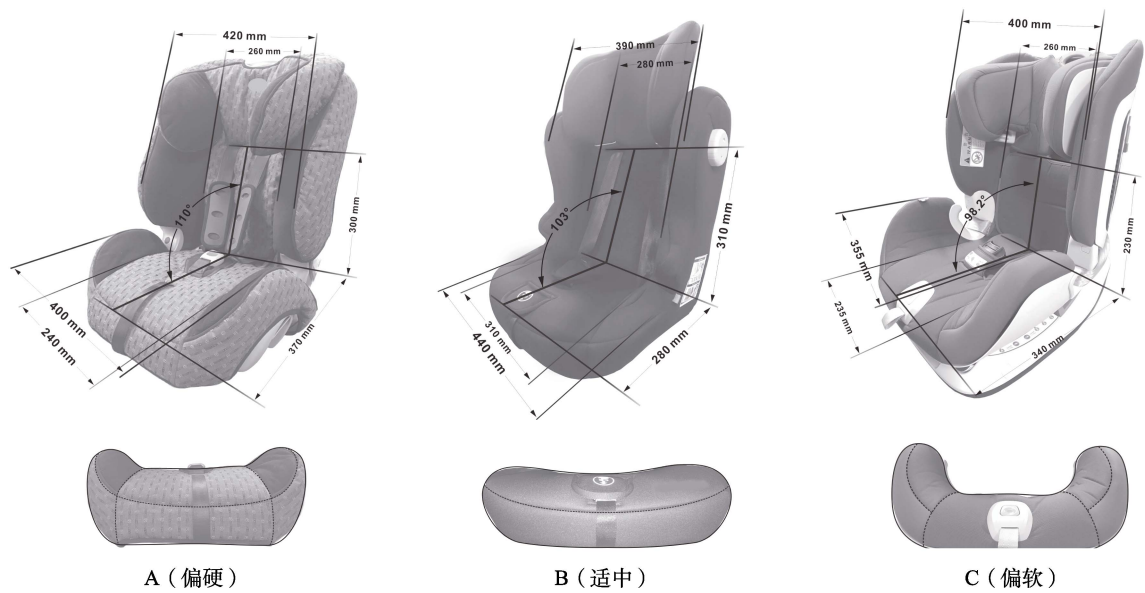
实验采用美国 Tekscan 体压分布测量系统（Body Pressure Measure System，简称 BPMS）进行数据采集，原始信号的数字输出范围在 0~255，代表不同大小的相对压力值（0 为无压力，255 为最大压力值），实验场景（左）与压力垫（右）见图 1。根据 GB 27887-2011 选择三款角度不同、造型不同、软硬不同且适合 4~8 岁儿童乘坐的儿童安全座椅，见图 2。选取市面上销量较好、口碑较好、价格在 1000~1200 元之间的座椅进行对比实验，这些座椅在硬件上具有以下共同点：头枕可上下调节、ISOFIX 接口、内置五点式安全带卡扣。在正式实验之前进行了一次预实验，研究人员发现五点式安全带卡扣底端位于儿童裆部，使压力垫无法平铺，因此只能拆除掉三款座椅中的五点式安全带卡扣。座椅骨架的用材均为塑料，注塑开模，整体较为坚固耐用。三款座椅结构及尺寸见表 2。总的来说，三款座椅造型、坐面—靠背夹角、软硬均不同。为了获得压力分布，采用一块柔性压力测量垫，先后放置在臀部及背部区域进行实验。汽车座椅具有一定的倾斜角度，因此实验购买了三款符合汽车座椅角度的礼堂座椅用来放置儿童安全座椅。

表 1 被试特征
Tab.1 Characteristics of subjects

被试数据	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	平均值±标准差	最小值	最大值
性别	男	女	男	女	男	男	女	女	—	—	—
年龄/岁	6	5	8	7	6	6	4	8	6.25±1.39	4	8
身高/cm	113	95	114	117	100	108	103	125	109±10	95	125
体重/kg	20.95	12.50	20.00	20.00	15.00	18.00	10.00	22.00	17.31±4.34	10.00	22.00
肩宽/cm	31	23	37	31	24	27	21	28	28±5	21	37
腰宽/cm	20	19	24	20	19	19	16	20	20±2	16	24
臀宽/cm	22	21	25	24	22	21	18	21	22±2	18	25
大腿长/cm	19	14	17	18	15	17	11	20	16±3	11	20



图 1 实验场景（左）与压力垫（右）
Fig.1 Experimental set-up (left) and pressure pad (right)



注：图中 B 座椅头枕已为最低档位

图 2 三款儿童安全座椅
Fig.2 Three types of children safety seats

表 2 三款座椅结构及尺寸
Tab.2 Structures and size of three seats

座椅	结构							尺寸/mm								角度
	固定接口	五点卡扣	头枕调节	前后倾斜	折叠	脚踏	智能硬件	靠背外宽	靠背内宽	靠背外高	靠背内高	坐面外宽	坐面内宽	坐面进深	坐面—靠背角度	
A	√	√	√	×	√	×	×	420	260	500	300	400	240	370	110°	
B	√	√	√	×	×	×	×	390	280	390	310	440	310	280	103°	
C	√	√	√	√	×	×	×	400	260	480	230	355	235	340	98.2°	

注：靠背外高测量尺寸标准为从座椅正面的靠背顶端到坐面的垂直距离；内高的尺寸测量标准为将头枕调节至最低后，从头枕最低处到坐面的垂直距离

1.3 实验方法

记录被试身体数据之后，以 S1 为例，测试之前告知被试将会询问其有关舒适性的问题，要求被试儿童坐在放置有压力测量垫的 A 款儿童安全座椅中(实验顺序随机^[15])，系上五点式安全带及卡扣，此时压力测量垫放置在如图 2 所示的 A 款座椅的靠背上，

先测量背部，保持自然姿势，持续 10 min，待压力分布相对稳定后开始记录；测试完毕后，让被试儿童休息 10 min，接着将测量垫放置在 A 款儿童安全座椅的坐面上测量臀部，保持自然姿势，持续 10 min。A 款座椅测试完毕后，被试儿童休息 10 min。测试完第二款座椅之后，实验人员会询问儿童：“和上一款座椅相比，哪款座椅坐着更舒适？”并在实验过程中反

表 3 稳定时记录的峰值压力 (Raw)
Tab.3 Peak pressure recorded at steady state (Raw)

座椅	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	平均值±标准差
A	142	216	145	162	255	147	174	133	171.75±42.60
B	222	183	255	165	255	238	178	230	215.75±35.64
C	136	126	160	144	179	140	152	164	150.13±17.11

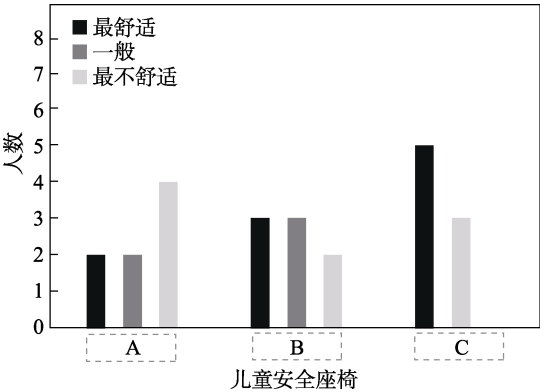


图 3 儿童主观舒适性评价
Fig.3 Subjective comfort evaluation by children

复提及舒适话题，防止儿童因转移注意力而难以分辨，结束时让儿童指出最舒适和最不舒适的座椅，答案作为辅助分析。考虑到汽车行驶过程中的一些自然情况，整个实验过程中准备有零食、水果、玩具、电子设备等物品供儿童使用，家长只能在儿童入座和一轮测试结束时与其接触，实验耗时约 60 min。

1.4 数据采集及分析

待被试儿童入座，压力图形趋于稳定之后立即存储界面压力分布图像，将该组数据定义为“瞬时”数据；接着再进行 10 min 的测试并录制压力变化影像，将该组数据定义为“长时 (10 min)”数据，包括被试的界面压力分布、峰值压力等数据。数据收集完成后，导出 ASCII 格式文档作为计算及统计分析的基础。实验完成后，结合压力数据与主观评分得到合理的界面压力分配方案；通过绘制坐面压力—舒适性矩阵图像，进一步分析瞬时压力、长时压力与舒适性之间的关联，得出三款座椅界面压力的具体分配情况。

2 实验结果与讨论

2.1 臀部区域

待儿童入座界面压力稳定后立即记录臀部区域的数据，保存此时的压力数据并记录峰值压力，计算平均值与标准差，见表 3。其中 C 款座椅标准差最小，A 款座椅最大，说明 C 款座椅的舒适性最具稳定性，A 款座椅最不稳定，B 款座椅介于两者之间，这与先前的假设一致；对三款座椅峰值压力进行 t 检验，结果表明，A 款座椅与其他两款座椅均无显著差异 ($P>0.05$)，B 款和 C 款座椅具有显著差异 ($P<0.05$)。儿童主观舒适性评价见图 3。三款座椅中 C 款座椅最舒

适 (4 人：S1/S2/S5/S6/S7)，A 款座椅最不舒适 (4 人：S2/S4/S5/S6)，B 款座椅介于两者之间 (3 人：S2/S5/S6)，与界面压力测量结果相符。

2.1.1 瞬时压力与舒适性关联分析

人体坐在椅子上时处于一种动态的稳定状态，通过不断轻微的姿势调整来消除脊柱上的不正常压力，同时坐骨结节和臀部肌肉长期承受着人体自身的重量负荷，足以引起压力和疲劳^[17]。人体与其接触物体之间相互作用会产生舒适或不适的感觉，先前已有研究证明界面压力和舒适性之间是相互依赖的^[18]。界面压力图像的颜色体现了局部压力的大小，鲜艳的颜色代表该区域承受压力较大，同时存在峰值压力，深蓝色代表该区域压力较小。整合儿童入座稳定时所记录的界面压力分布图像，以 A 款座椅为例，8 名被试儿童经测试得到 8 张界面压力分布图像，再统一降低图像透明度至 50%并叠加重合在一起，重新绘制压力—舒适性矩阵图像。图像整合原理见图 4。

三款儿童安全座椅的压力分布图像整合 (瞬时) 见图 5，可以清晰地观察到其中的区别。A 款座椅材质在三款座椅中最硬、坐面最平整、坐面—靠背夹角最大 (110°)，压力显著分布在臀部两侧坐骨结节区域；B 款座椅材质的软硬介于另外两款座椅之间，坐面造型呈轻微内凹的弧面，两侧没有防护装置，坐面—靠背夹角介于另外两款座椅之间 (103°)，压力显著分布在臀部中间骶椎区域；C 款座椅材质质地最软，整个坐面造型具有很强包裹性，坐面—靠背夹角最小 (98.2°)，与 A 款座椅相似，压力分布在臀部两侧坐骨结节区域且整体压力分布较 A 款和 B 款座椅更加柔和均匀，与前文分析结果一致。

2.1.2 长时压力与舒适性关联分析

实验要求儿童在自然姿势下乘坐儿童安全座椅，随时间的推移儿童会感觉到不适并变换姿势，姿势的改变也许是因为安全座椅引起了不适^[4]；而压力增加的原因有两点：(1) 肌肉收缩；(2) 韧带活动致使脊柱弯曲和直立，当座椅位置不是最佳状态时，需要更多的肌肉活动来稳定，从而导致椎间盘压力明显增大^[15-16]。

在 Tekscan 系统中分析所有被试的压力图像，设置条件为“峰值压力”与“时间”，每间隔 40 s 取该时间点前后 2 s 的峰值压力值并记录 (每个时间点记录五个数值)，初始时间 0 s 与结束时间 600 s 分别对应 0~4 s 和 596~600 s，计算每个时间点的平均值，绘制趋势图 6—9。

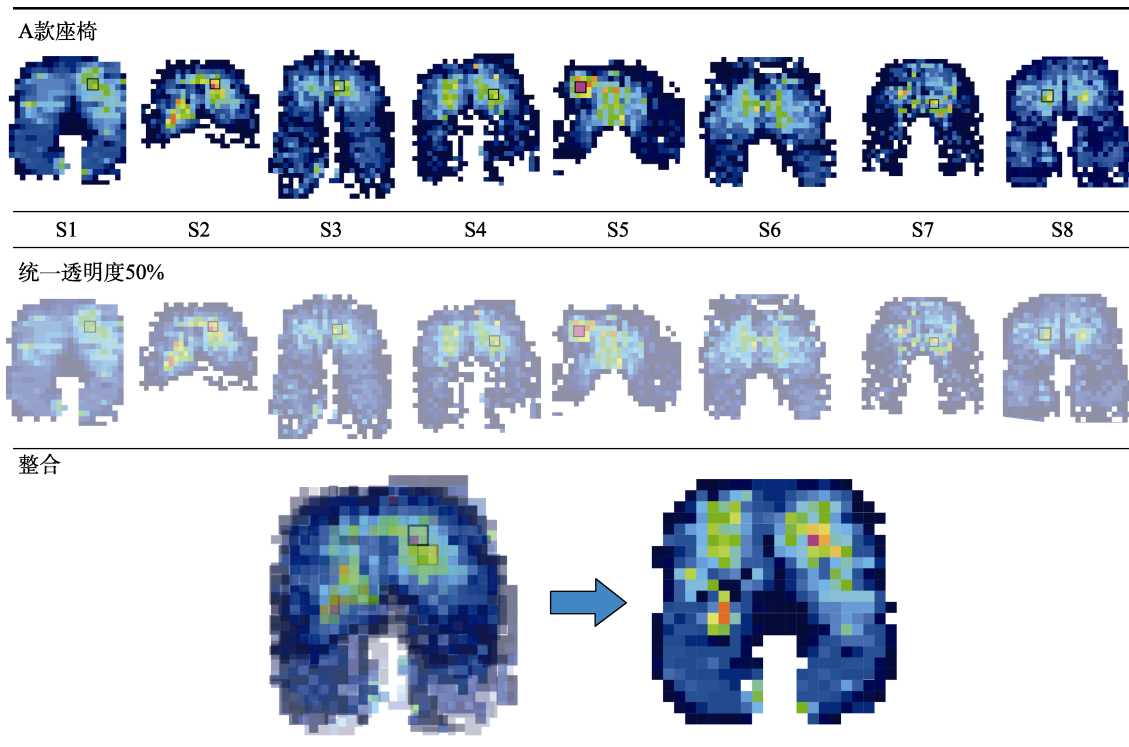


图 4 图像整合原理
Fig.4 Example of image integration

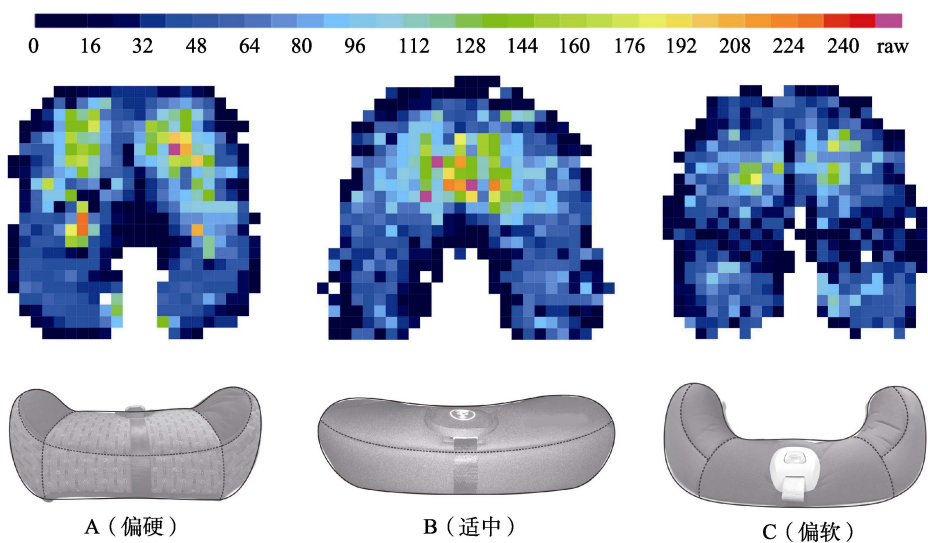
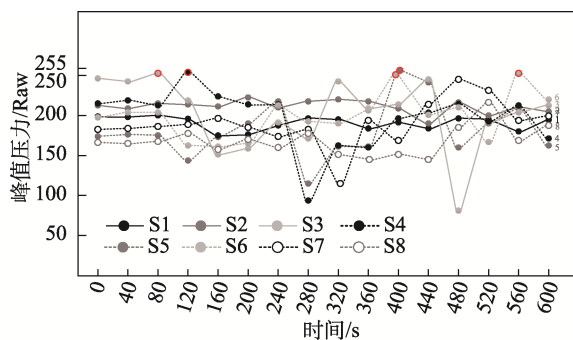


图 5 三款儿童安全座椅的压力分布图像整合（瞬时）
Fig.5 Pressure distribution image integration of the three children safety seats (instantaneous)

统计以上数据，对比图 6—8 可以看出，图 8 代表的 C 款座椅的压力趋势较 A 款和 B 款座椅更低。仅从趋势图上看，三款座椅在前 80 s 中更稳定，但观察并对比 0~80 s 与 80~600 s 峰值压力数据发现，A 款和 C 款座椅无显著差异 ($P>0.05$)，B 款座椅与 A 款和 C 款座椅之间均具有显著差异 ($P<0.05$)；计算三款座椅的峰值压力均值和标准差，如图 9 所示，C 款座椅在 80 s 之后各时间点的标准差值较大，而 B 款座椅相对较小。这说明在 10 min 的测量中，B 款座椅更具稳定性且所有被试在前 80 s 中更可能呈现

出稳定趋势；80 s 之后出现波动，C 款座椅最不稳定，A 款座椅介于两者之间，这与之前对被试的“瞬时” ($C>A>B$) 压力分析不同。说明时间对峰值压力具有影响。两两对比三款座椅的平均值，得出三款座椅间均具有显著差异 (A-B: $P<0.05$ ；A-C: $P<0.001$ ；B-C: $P<0.001$)。

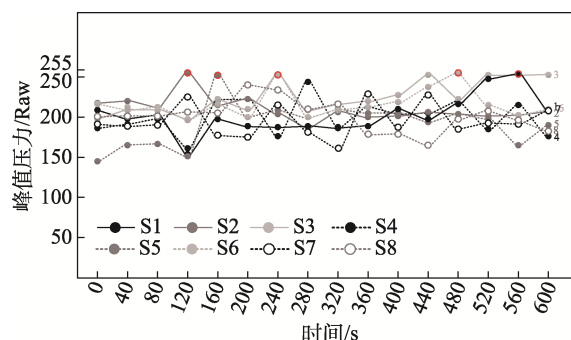
从图 6—8 中取至高的五个峰值压力点（红圈标记）作为“坐面压力—舒适性矩阵图”分析的基础，与前面的方法相同，三款座椅分别提取五张界面压力图像进行整合。图 6—8 中五个峰值压力点坐标依次



注：红圈为至高的五个点

图6 A款座椅峰值压力与时间关系趋势

Fig.6 Relationship between peak pressure for seat A and time



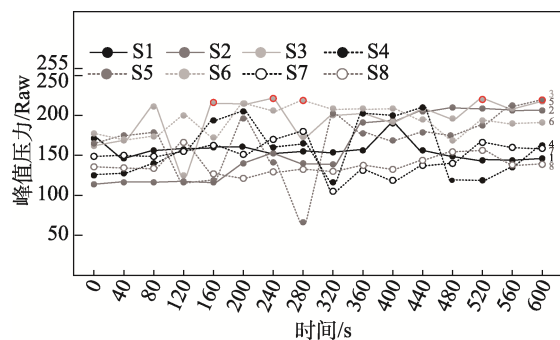
注：红圈为至高的五个点

图7 B款座椅峰值压力与时间关系趋势

Fig.7 Relationship between peak pressure for seat B and time

为：(S3,80 s)(S4,120 s)(S5,400 s)(S6,400 s)(S6,560 s)；
(S2,120 s)(S5,40 s)(S3,240 s)(S6,480 s)(S1,560 s)；
(S3,160 s)(S3,240 s)(S6,280 s)(S3,520 s)(S5,600 s)。三款儿童安全座椅的压力分布图像整合（10 min）见图10，可以明显看到三款座椅间的区别。与前文对“瞬时”图像的分析结果一致，A款座椅由于其较硬的质

地，压力显著分布在臀部两侧坐骨结节区域且呈“高压”状态，存在不合理的压迫。B款座椅材质的软硬介于另外两款座椅之间，“高压”同样以坐骨结节区域为主，但较A款座椅更居中，周围区域压力扩散不均匀，这与之之前“瞬时”图像不同（“高压”高度居中且看不清坐骨结节位置），大腿下部也有较为显著的压力区域，整体较另外两款座椅更加“不稳定”。



注：红圈为至高的五个点

图8 C款座椅峰值压力与时间关系趋势

Fig.8 Relationship between peak pressure for seat C and time

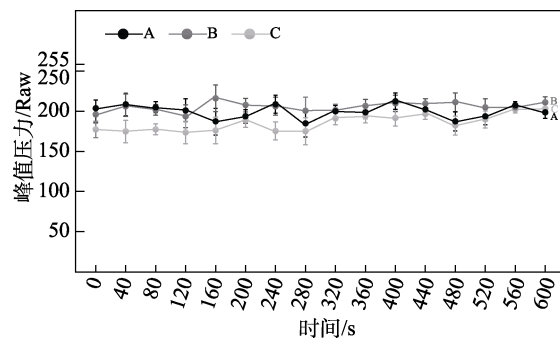


图9 三款座椅峰值压力与时间关系总趋势（平均值）

Fig.9 Relationship between peak pressure for types of seats and time (average)

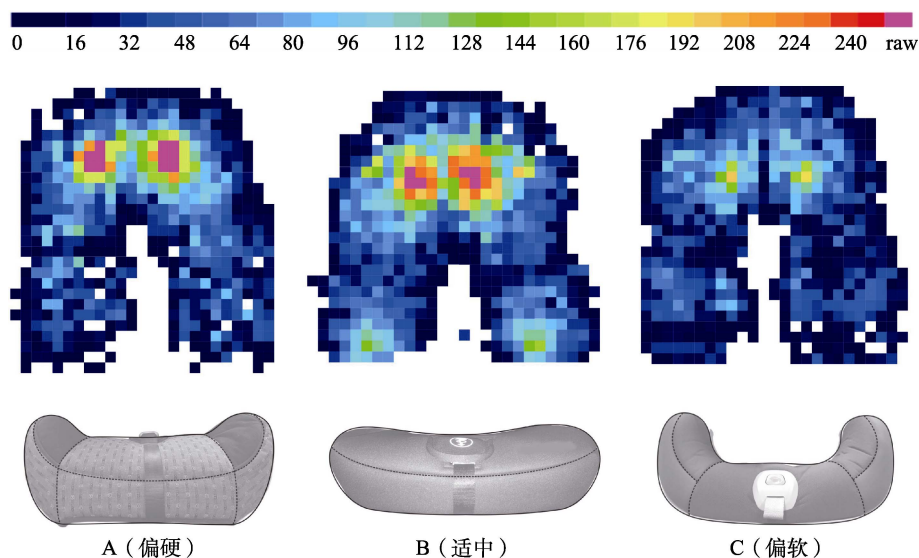


图10 三款儿童安全座椅的压力分布图像整合（10 min）

Fig.10 Pressure distribution image integration of three children safety seats (10 min)

这说明儿童在乘坐 B 款座椅时,臀部在感受到不适的同时大腿下部也同样感受到不适。C 款座椅质地最软,与 A 款座椅相似,压力分布在臀部两侧坐骨结节区域且整体压力分布较 A 款和 B 款座椅更加柔和,臀型轮廓更明显,呈现出最优界面压力分布。

也有研究显示大腿不适与坐面—靠背夹角有关,而坐面进深是大腿支撑的重要决定因素之一^[3]。实验选择的儿童安全座椅虽然具有不同角度,但是从实验过程及结果中难以察觉其对儿童整体舒适性的影响,坐面—靠背的角度对大腿舒适性的影响也是模糊的。然而研究人员从儿童的压力分布图像中发现,坐面进深尺寸可能是影响大腿舒适性的因素之一。A、B、C 三款座椅坐面进深尺寸分别为: 370 mm、280 mm、340 mm, B 款座椅与其他两款座椅坐面进深尺寸相比分别相差 90 mm 和 50 mm,图 10 中 B 款座椅呈现的压力分布图像可以说明被试乘坐在该款座椅中时并未得到合理的大腿支撑, A 款和 C 款座椅的坐面舒适性高于 B 款座椅。

2.2 背部区域

当压力垫放置在靠背区域时,所呈现出的数据非常有限。将一块三角形腰枕放置在被试儿童腰后(腰枕为购买儿童安全座椅时的附带物件),见图 11,仅腰部下方呈现出稀少且不规则的压力分布图像,肩部区域没有数据显示。虽然在测试过程中儿童有玩电子设备和玩玩具等活动,这些行为使儿童的头部相对于躯干前倾^[18],但是实验人员要求被试儿童臀部尽量靠后,腰背紧贴座椅靠背,结果同上。因此不再对背部区域进行统计学分析。

通过测试分析得到儿童在“瞬时”压力分布图像中 A 款座椅最不舒服,在“长时”压力分布图像中 C 款座椅最不舒服;但这仅仅是对臀部区域的测试和分析,遗憾的是背部区域并未测出数据,这与儿童在乘坐过程中所参与的活动有关,这些活动使儿童的头部相对于躯干前倾。尽管儿童被研究人员引导使其背部紧贴靠背,但仍然没有可靠的数据显示,这与 Osvalder 等人^[19]的结果一致,同时也表明这三款儿童

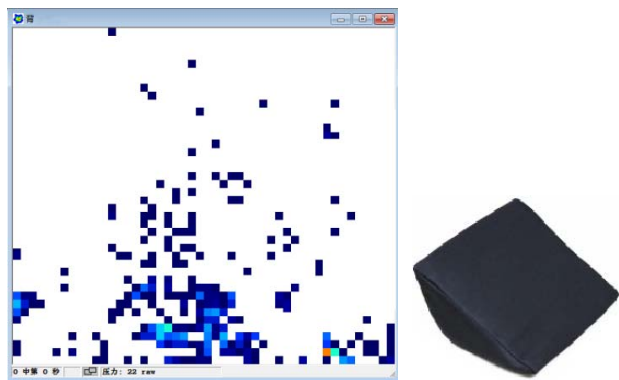


图 11 背部区域界面压力分布(左)和三角腰枕(右)

Fig.11 Backrest interface pressure distribution (left) and triangular lumbar pillow (right)

安全座椅的靠背设计并不贴合人机形态,无法实现“包裹”的感觉,存在一定缺陷。

3 结语

基于国内外成年人和儿童关于压力分布、疼痛阈值等方面的研究,将可行性较高的压力测试用于儿童的舒适性研究上;提出了一种整合图像的方法;通过提取时间节点绘制峰值压力与时间的关系趋势图并对分析结果进行了讨论与总结。

基于研究结果得到了以下规律:材质偏软、包裹性强的安全座椅更贴合人机形态,舒适性更高,验证了前人提出的观点——影响舒适或不适的一个因素是身体或身体与物体接触部分的压力分布^[17];对比 80 s 后的压力趋势,儿童在 80 s 前的乘坐体验更具舒适性。提取时间节点绘制趋势图的方式证明了随着时间的变化,儿童的乘坐舒适性具有一定规律,该方法有效且具有可行性;儿童对座椅的舒适性判断取决于入座时的第一印象。这为今后儿童安全座椅的设计提供了新的创新点,能帮助企业进一步改进产品的舒适性并增强交互体验^[20]。

实验在实验室中进行,在还原真实场景上具有一定难度,在今后的研究中将会探究路况因素及车内环境因素对儿童乘坐舒适性的影响,以及同城出行与长途出行中不同时间长度对儿童乘坐舒适性的影响。同时,嵌入型智能与交互的设备已越来越受消费者喜爱,基于这些方面的研究也是未来儿童安全座椅的发展趋势。

参考文献:

- [1] 王晗, 张建新, 陈怀良. 儿童乘车安全现状及影响因素分析[J]. 现代预防医学, 2013, 40(19): 3597-3601.
WANG Han, ZHANG Jian-xin, CHEN Huai-liang. The Analysis of Status and Influential Factors on Child's Safety of Taking Cars[J]. Modern Preventive Medicine, 2013, 40(19): 3597-3601.
- [2] 冯俊玲, 方力, 陆杨, 等. 上海某社区部分 3~6 岁儿童乘车安全座椅使用现况[J]. 上海预防医学, 2018, 30(11): 937-942.
FENG Jun-ling, FANG Li, LU Yang, et al. Current Status of the Use of Car Safety Seats for Children Aged 3-6 Years in a Certain Community in Shanghai[J]. Shanghai Preventive Medicine, 2018, 30(11): 937-942.
- [3] ZENK R, FRANZ M, BUBB H, et al. Technical Note: Spine Loading in Automotive Seating[J]. Applied Ergonomics, 2012, 43(2): 290-295.
- [4] VINK P, LIPS D. Sensitivity of the Human Back and Buttocks: The Missing Link in Comfort Seat Design[J]. Applied Ergonomics, 2017, 58: 287-292.
- [5] BINDERUP A T, ARENDT-NIELSEN L, MADELEINE P. Pressure Pain Sensitivity Maps of the Neck-Shoulder

- and the Low Back Regions in Men and Women[J]. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2010, 11(1): 234.
- [6] BUCKLE P, FERNANDES A. Mattress Evaluation-assessment of Contact Pressure, Comfort and Discomfort[J]. *Applied Ergonomics*, 1998, 29(1): 35-39.
- [7] ZEMP R, TAYLOR W R, LORENZETTI S. Seat Pan and Backrest Pressure Distribution while Sitting in Office Chairs[J]. *Applied Ergonomics*, 2016, 53: 1-9.
- [8] FASULO L, NADDEO A, CAPPETTI N. A Study of Classroom Seat (Dis) Comfort: Relationships between Body Movements, Center of Pressure on the Seat, and Lower Limbs' Sensations[J]. *Applied Ergonomics*, 2019, 74: 233-240.
- [9] NIU L, GAO Y M, TIAN Y, et al. Safety Awareness and Use of Child Safety Seats among Parents after the Legislation in Shanghai[J]. *Chinese Journal of Traumatology*, 2019, 22(2): 85-87.
- [10] PTAK M, WILHELM J, SAWICKI M, et al. Child Safety on Various Bicycle-mounted Seats during Vehicle Impact[J]. *Transport*, 2019: 1-8.
- [11] FONG C K, BILSTON L E, PAUL G, et al. A Novel Method for Quantifying Comfort in Child Passengers Demonstrates an Association Between Child Restraint Comfort and Errors in Use of Booster Seats[J]. *Traffic Injury Prevention*, 2017, 18(1): 109-115.
- [12] WILFINGER D, MESCHTSCHERJAKOV A, MURER M, et al. Are We There Yet? A Probing Study to Inform Design for the Rear Seat of Family Cars[C]. Berlin: IFIP Conference on Human-Computer Interaction, 2011.
- [13] ZUCKERMAN O, HOFFMAN G, GAL-OZ A. In-car Game Design for Children: Promoting Interactions Inside and Outside the Car[J]. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2014, 2(4): 109-119.
- [14] PUNCH S. Research with Children: the Same or Different from Research with Adults?[J]. *Childhood*, 2002, 9(3): 321-341.
- [15] FONG C K, BILSTON L E, PAUL G, et al. Is Comfort Important for Optimal Use of Child Restraints?[C]. Proceedings of the 24th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV). NHTSA, 2015.
- [16] 边玉芳. 儿童心理学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 2009.
- BIAN Yu-fang. *Child Psychology*[M]. Hangzhou: Zhejiang Education Press, 2009.
- [17] LUO S, WANG Y, GONG Y, et al. A Preliminary Study of Smart Seat Cushion Design[C]. Cham: International Conference on Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions, 2017.
- [18] NADDEO A, CALIFANO R, VINK P. The Effect of Posture, Pressure and Load Distribution on (Dis) Comfort Perceived by Students Seated on School Chairs[J]. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 2018, 12(4): 1179-1188.
- [19] OSVALDER A L, HANSSON I, STOCKMAN I, et al. Older Children's Sitting Postures, Behavior and Comfort Experience during Ride: A Comparison between an Integrated Booster Cushion and a High-back Booster[C]. Gothenburg: Proceedings 2013 IRCOBI Conference, 2013.
- [20] CARFAGNI M, FURFERI R, GOVERNI L, et al. A Vane-motor Automatic Design Procedure[J]. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 2013, 7(3): 147-157.