DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2025115

· 疾病控制 ·

不同坐姿下学龄儿童肌肉疲劳评估

罗玲[1,2],呼慧敏[1,2],牛文磊[1,2],郝安娜[3]

1.中国标准化研究院人类工效实验室,北京 100191;
2.国家市场监督管理总局重点实验室(人因与工效学);3.郑州大学机械与动力工程学院

【摘要】 **目的** 研究不良坐姿对学龄儿童坐姿疲劳的影响,为学龄儿童健康坐姿提供参考和依据。**方法** 2024 年 5 月在北京市昌平区招募 30 名 6~12 岁儿童参与研究,采用表面肌电信号(sEMG)与心理物理量表主客观相结合的方法评估 4 种坐姿下(低头坐姿、偏头坐姿、高低肩坐姿和身体前倾坐姿)不同偏移角度的坐姿疲劳度。采用单因素方差检验与 LSD 事后多重比较分析不同坐姿下各偏移角度间肌电(EMG)数据的差异性。**结果** 不同坐姿下儿童部分肌肉的积分肌电(I_{EMG})均值在不同偏移角度间差异均有统计学意义(P 值均<0.05),肌肉疲劳度随着偏移角度的增大而加重。其中,低头坐姿下,左侧和右侧胸锁乳突肌、左侧和右侧头夹肌的 I_{EMG} 在不同低头角度间均有统计学意义(F 值分别为 13.74,13.21,5.43,6.11,P 值均<0.05);偏头坐姿下,右侧胸锁乳突肌、右侧头夹肌、左侧斜方肌的 I_{EMG} 在不同偏头角度间差异均有统计学意义(F 值分别为 5.13,4.73,12.13,P 值均<0.05);高低肩坐姿下,右侧胸锁乳突肌、左侧和右侧头夹肌、左侧斜方肌的 I_{EMG} 在不同高低肩角度间差异均有统计学意义(F 值分别为 12.46,12.56,32.49,5.98,P 值均<0.05);前倾坐姿下,左侧和右侧胸锁乳突肌、左侧和右侧头夹肌、腰肌左侧和右侧的 I_{EMG} 在不同身体前倾角度间差异均有统计学意义(F 值分别为 4.45,9.84,14.49,26.44,8.02,18.34,P 值均<0.01)。从时序分析来看,不同坐姿出现疲劳的时间不同,偏头及身体前倾坐姿容易出现严重疲劳,低头角度过大及偏头坐姿容易出现轻度或中度疲劳。**结论** 不同坐姿下学龄儿童部分相关肌肉 I_{EMG} 及主观评价均随着偏移角度增加而增加,偏头及身体前倾坐姿易导致严重疲劳,需关注高低肩、身体躯干前倾及高低肩坐姿。

【关键词】 坐姿;肌疲劳;方差分析;儿童
【中图分类号】 R 179 R 337 G 479 【文献标识码】 A 【文章编号】 1000-9817(2025)04-0558-06

Assessment of muscle fatigue in school-age children under different sitting postures/*LUO Ling**, *HU Huimin, NIU Wenlei, HAO Anna.* **Human Efficiency Laboratory, China National Institute of Standardization, Beijing* (100191), *China*

【**Abstract**】 **Objective** To investigate the effects of poor sitting postures on muscle fatigue in school-age children, so as to provide evidence for developing healthy sitting guidelines. **Methods** In May 2024, 30 children aged 6-12 were recruited from Changping District in Beijing. A combination of surface electromyography (sEMG) and psychophysical scales were used to assess muscle fatigue at varying deviation angles under four sitting postures (forward head tilt, lateral head tilt, uneven shoulder height, and forward trunk inclination). One-way ANOVA and LSD post hoc multiple comparisons were employed to analyze the differences in electromyographic (EMG) data among various deviation angles under different sitting postures. **Results** The mean integrated electromyography (I_{EMG}) of representative muscles showed statistically significant differences (P<0.05) across deviation angles in all postures, with muscle fatigue worsening as deviation angles increased. Forward head tilt: significant I_{EMG} differences were observed in the left/right sternocleidomastoid and left/right splenius capitis (F=13.74, 13.21, 5.43, 6.11, P<0.05). Lateral head tilt: significant differences were found in the right sternocleidomastoid muscle (SCM), right splenius capitis, and left trapezius (F=5.13, 4.73, 12.13, P<0.05). Uneven shoulder height: significant differences occurred in the right SCM, bilateral splenius capitis, and left trapezius (F=12.46, 12.56, 32.49, 5.98, P<0.05). Forward trunk inclination, significant differences were identified in the left/right SCM, left/right splenius capitis, and left/right lumbar muscles (F=4.45, 9.84, 14.49, 26.44, 8.02, 18.34, P<0.01). Temporal analysis revealed varying fatigue onset times across postures: severe fatigue occurred earlier in lateral head tilt and forward trunk inclination, while excessive forward head tilt, lateral head tilt, and uneven shoulder postures predominantly induced mild to moderate fatigue. **Conclusions** Under different sitting postures, both the integrated I_{EMG} of relevant muscles and subjective evaluations in school-aged children increase with greater postural deviattion. Head tilt and trunk-leaning postures require particular intervention, with emphasis on uneven-shoulder alignment and trunk inclination control.

【**Keywords**】 Sitting position; Muscle fatigue; Analysis of variance; Child

【基金项目】 国家重点研发计划项目(2023YFF0615902);国家市场监管总局科技计划项目(2023MK192);中央基本科研业务费项目(522024Y-11784,522023Y-10381)

【作者简介】 罗玲(1986-),女,广东省人,硕士,助理研究员,主要从事人类工效学标准化和科研工作。
【通信作者】 呼慧敏,E-mail:huhm@cnis.ac.cn

长期不良坐姿是造成学龄儿童脊柱侧弯与近视的重要因素[1-2]，我国青少年脊柱侧凸患病率逐年上升[3-4]。长期伏案读写和使用电子产品易导致肩颈肌肉疲劳，超过 75%以上学龄儿童易出现错误坐姿，如低头幅度过大、驼背等。长此以往不仅会导致体态不佳，还可能引发脊柱变形、视力问题和肌肉损伤，并影响心理健康[5]。目前，国内外学者[6-8]采用表面肌电信号（surface electromyography，sEMG）评估坐姿舒适度及肌肉疲劳度，并通过肌电信号与主观评价相结合方式研究坐姿疲劳与维持时间的关系。Tahernejad[9]测量 40 名健康男性在常见静态坐姿 4 min 下的不适感发现，适度颈部屈曲姿势保持时间最短，而膝盖屈曲 90°的腿部姿势保持时间最长。贾淼等[10]通过采集颈部肌肉肌电，研究地铁低头族颈部肌肉疲劳，发现随着时间推移，颈部肌肉负荷逐渐增大。本研究采用 sEMG 和主观评价相结合的方法，探讨学龄儿童不良坐姿相对直立坐姿的不同偏移角度对肌肉疲劳的影响，为学龄儿童健康学习坐姿提供指导。

1　对象与方法

1.1　对象　2024 年 5 月，依据《中国未成年人人体尺寸》（GB/T 26158—2010）[11]，简单随机招募 30 名 6～12 岁（平均 9.3 岁）的北京市昌平区小学生，身高覆盖 P_5、P_{50}、P_{95}三类百分位，体重平均为（34.25±9.5）kg，视力正常，无脊柱侧弯等。研究经研究对象及家长同意并签署知情同意书，并获中国标准化研究院科技伦理审查委员会批准（批号：CNIS-TH85-20241011）。

1.2　实验方法

1.2.1　sEMG 分析　肌电指标用于反应肌肉受力变化或疲劳情况。积分肌电（integrated electromyography，I_{EMG}，单位 μV）是将肌电信号经整流滤波，求得单位时间内曲线下面积的总和，反映肌电信号随时间的强弱变化，是评价疲劳的重要手段[11]。通过 I_{EMG} 可判断肌肉活动的强弱，即运动中各肌肉的贡献率。当 I_{EMG} 值上升到高于初始值时为出现疲劳，疲劳程度越重，I_{EMG} 值越高[12]。

1.2.2　坐姿疲劳度主观评价　采用主观疲劳度评价量表评估不同偏移角度产生的疲劳感[13]。量表配以情绪表情图以帮助学龄儿童更好理解，主观评价为 0 不疲劳～5 极其疲劳评定疲劳度。该量表 Cronbach α 系数为 0.95，内部一致性良好。

1.3　实验设计　参考人类工效学静态工作姿势评价标准中的姿态角度范围[14]，并根据预实验偏移角度敏感度的测试结果，设置包括初始直立坐姿（0°）和不同姿态偏移角度条件：低头（0°、30°、40°、50°）、偏头（0°、20°、30°、40°）、高低肩（0°、10°、15°）及躯干前倾（0°、15°、25°、35°、45°、55°）。为消除疲劳效应，采取平衡设计。

1.3.1　自变量控制　实验采用《综合防控学龄儿童青少年近视实施方案》[15]推荐的直立坐姿为初始直立坐姿（推荐的正确坐姿）：头部自然直立，视线自然向下；胸椎不前凸，脊柱保持自然形态；双腿保持 90°角直立，手臂自然放在桌面上；眼书距离约 33 cm、胸前与课桌距离约一拳。

调研发现学龄儿童常见不良坐姿包括低头、偏头、高低肩和身体前倾等。针对主要涉及到的身体部位，将表征头部、肩部和躯干的角度指标定义：（1）低头角，耳屏点与颈椎棘突（C7 点）连线与冠状面的夹角；（2）偏头角，头顶点与下巴点连线与矢状面的夹角；（3）肩上举角，左右两个肩峰连线与水平面的夹角；（4）躯干前倾角，颈椎棘突点（C7 点）与背中点连线与冠状面的夹角。在参试人员身上粘贴标记点，通过动作捕捉系统监测各指标的偏移角度。通过控制单一指标变化，保持其他指标不变方式，实现对偏移角度的控制。

1.3.2　因变量测量　针对 4 种不良坐姿主要涉及的身体部位，使用表面肌电系统采集学龄儿童身体左右两侧的胸锁乳突肌、头夹肌、上斜方肌、背阔肌和腰肌的肌电数据。

1.4　实验设备　使用市售高度可调节学习桌椅，姿态角度采集系统为瑞典高速摄像动作捕捉分析系统 QUALISYS/OQUS700+，精度 0.017 mm，采样频率 100 Hz。肌电采集系统为美国 NORAXON 公司的 Ultium EMG 系统，采样频率 4 000 Hz，并使用 myoMUSCLE 模块采集及分析肌电数据。

1.5　实验过程　首先，清洁参试人员皮肤，并在相应肌肉位置粘贴电极片及检查阻抗。然后，根据参试人员的身高将学习桌椅调至合适高度，并参照初始坐姿就坐。参试人员执行看平板视频或写字任务。实验人员每隔 1 min 采集肌电信号，记录参试人员主观舒适度，直至其出现疲劳。

1.6　统计学分析　采用 FIR 滤波器进行 10～500 Hz 带通滤波后，进一步通过 80 ms 窗口均方根（RMS）平滑处理信号。随后，利用软件自带的标准表面肌电报告及频谱/疲劳分析工具，对肌电积分数据进行处理和导出。剔除异常值后，用 MATLAB 软件计算各肌肉 I_{EMG}。使用 SPSS 26 软件对处理后的肌电数据进行分析，采用 ANOVA 单因素方差检验与 LSD 事后多重比较分析不同坐姿下各偏移角度间肌电数据的差异性，采用配对 t 检验比较分析各坐姿各偏移角度相对于初始角度的主观评分的差异性。检验水准 $\alpha=0.05$。

2 结果

2.1 学龄儿童不同坐姿下 I_{EMG} 分析 I_{EMG} 在用力初期呈增加趋势，部分运动单元出现疲劳，为维持等长收缩，发生肌肉纤维募集现象，造成 I_{EMG} 值增加。对实验积分肌电数据进行统计，分析各坐姿均值。

2.1.1 学龄儿童低头坐姿 I_{EMG} 分析 低头坐姿下，左侧和右侧胸锁乳突肌、右侧头夹肌、左侧斜方肌的 I_{EMG} 在不同偏头角度间差异均存在统计学意义（F 值分别为 3.54，5.13，4.73，12.13，P 值均<0.05）。其中，在低头角为 0°、30°、40°、50°时，左侧胸锁乳突肌 I_{EMG} 分别为（43.8±3.6，49.1±2.9，58.1±1.7，71.3±4.4）μV，右侧胸锁乳突肌 I_{EMG} 分别为（39.9±7.0，35.4±8.6，50.3±4.4，66.2±9.8）μV；右侧头夹肌 I_{EMG} 分别为（38.2±9.4，87.6±1.8，91.0±4.8，169.4±4.5）μV；左侧斜方肌 I_{EMG} 分别为（54.3±9.6，63.5±9.0，70.6±2.7，89.8±3.6）μV。图 1a 显示，各肌肉（胸锁乳突肌、头夹肌、斜方肌）I_{EMG} 均高于无偏移时，尤其是双侧头夹肌增幅最大，表明低头角度越大，头夹肌肉疲劳程度越重。

2.1.2 学龄儿童偏头坐姿 I_{EMG} 分析 因参试人员为右手写字，易左偏头，因此实验采用左偏头坐姿。左偏头坐姿下，右侧胸锁乳突肌、右侧头夹肌、左侧斜方肌的 I_{EMG} 在不同偏头角度间差异均有统计学意义（F 值分别为 5.13，4.73，12.13，P 值均<0.05）。其中，在偏头角为 0°、20°、30°、40°时，右侧胸锁乳突肌 I_{EMG} 分别为（41.5±2.9，91.5±8.9，90.7±5.9，108.9±5.8）μV，右侧头夹肌 I_{EMG} 分别为（52.6±1.6，132.6±7.9，142.9±7.2，163.3±4.2）μV，左侧斜方肌 I_{EMG} 分别为（51.0±10.3，54.2±10.0，50.8±6.6，67.9±10.2）μV。图 1b 显示，左侧头颈部肌肉 I_{EMG} 无明显变化，而右侧胸锁乳突肌与头夹肌 I_{EMG} 均随着角度增大而增大，表明左偏头时右侧头颈部肌肉受力增加，偏头角度越大，头夹肌的疲劳程度越重。

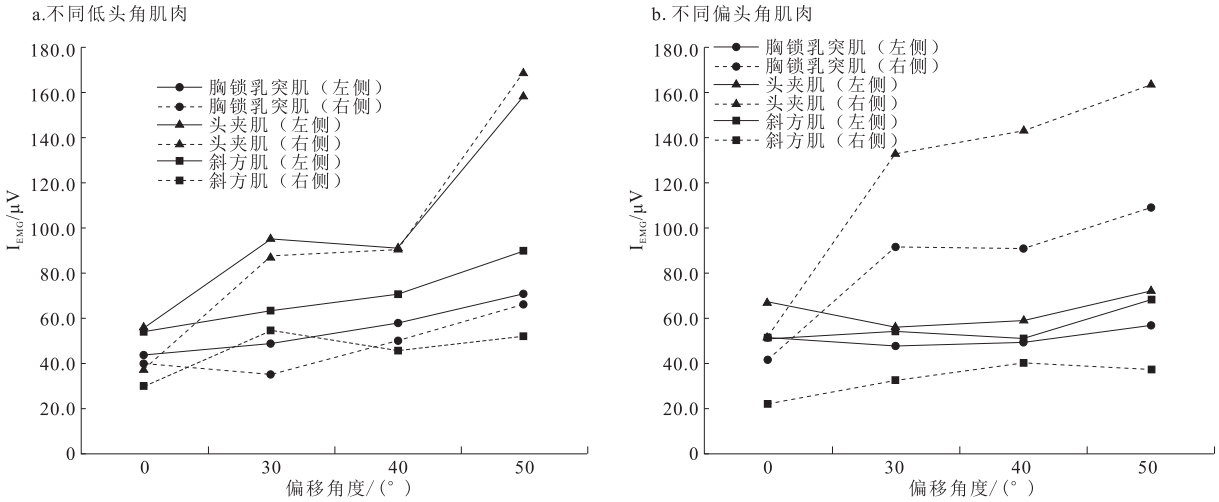


图 1 学龄儿童头部变化坐姿下 I_{EMG} 趋势

Figure 1 I_{EMG} trends of schoolchildren during head posture changes in sitting position

2.1.3 学龄儿童高低肩坐姿 I_{EMG} 分析 实验中，高低肩坐姿统一为左肩高、右肩低。高低肩坐姿下，右侧胸锁乳突肌、左侧和右侧头夹肌、左侧斜方肌的 I_{EMG} 在不同高低肩角度间差异均有统计学意义（F 值分别为 12.46，12.56，32.49，5.98，P 值均<0.05）。其中，在高低肩为 0°、10°、15°时，右侧胸锁乳突肌 I_{EMG} 分别为（53.7±3.0，84.3±3.6，138.9±7.7）μV，左侧头夹肌 I_{EMG} 分别为（46.3±7.8，102.0±8.3，63.0±1.4）μV，右侧头夹肌 I_{EMG} 分别为（46.6±3.0，129.3±12.6，156.1±5.4）μV，左侧斜方肌 I_{EMG} 分别为（46.4±8.5，131.0±7.9，112.4±8.9）μV。图 2 显示，除左侧胸锁乳突肌外，其他肌肉 I_{EMG} 随着偏移角度变化均明显增加，特别是右侧胸锁乳突肌、头夹肌及斜方肌 I_{EMG} 增幅明显，表明两肩高差增大会加剧头夹肌及斜方肌疲劳程度。

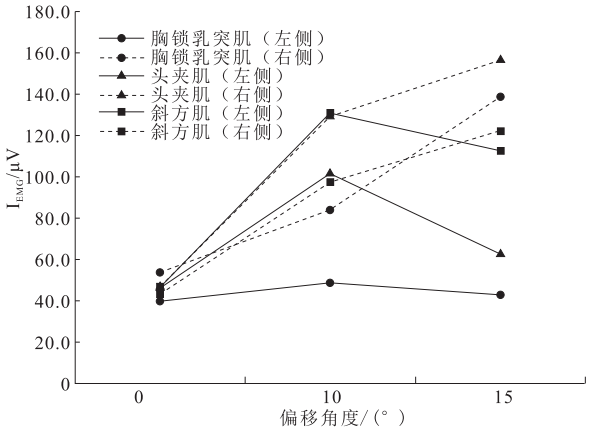


图 2 学龄儿童不同高低肩角度 I_{EMG} 趋势

Figure 2 I_{EMG} trends of schoolchildren under varying scapular elevation angles

2.1.4 学龄儿童身体前倾坐姿 I_{EMG} 分析 前倾坐姿

下，左侧和右侧胸锁乳突肌、头夹肌左侧和右侧、腰肌左侧和右侧的 I_{EMG} 在不同身体前倾角度间差异均有统计学意义（F 值分别为 4.45，9.84，14.49，26.44，8.02，18.34，P 值均<0.01）。在身体前倾角为 0°、15°、25°、35°、45°时，左侧胸锁乳突肌 I_{EMG} 分别为（45.5±6.3，82.4±5.2，65.1±7.8，52.5±7.9，67.1±3.1）μV，右侧胸锁乳突肌 I_{EMG} 分别为（34.4±8.5，45.8±2.3，59.1±3.3，69.8±5.7，69.4±11.4）μV，左侧头夹肌 I_{EMG} 分别为（79.2±8.3，100.4±10.3，97.6±3.7，115.9±9.2，185.2±9.1）μV，右侧头夹肌 I_{EMG} 分别为（48.6±3.8，81.3±9.3，106.1±6.3，128.5±6.0，179.5±9.0）μV，左侧腰肌 I_{EMG} 分别为（165.6±9.7，127.9±6.3，49.3±5.2，45.1±1.7，93.7±9.7，48.1±2.3）μV，右侧腰肌 I_{EMG} 分别为（172.7±8.5，133.2±7.6，64.9±8.2，53.8±3.1，41.9±5.3，47.5±1.9）μV。图 3 显示，角度偏移时两侧头夹肌 I_{EMG} 高于初始值，而背阔肌及腰肌 I_{EMG} 低于初始值，表明身体前倾下头夹肌处于持续用力状态，而背阔肌及腰肌出现深度疲劳。

2.2　不同坐姿下学龄儿童肌肉疲劳主观评价

2.2.1　偏移角度　身体前倾的整体疲劳度高于其他坐姿疲劳度。利用配对 t 检验分析不同偏移角的主观评分情况，发现不同坐姿偏移角度与初始直立坐姿（0°）间差异均有统计学意义（P 值均<0.05），其中低头角 20°、30°、50°时 t 值分别为−3.38，−3.98，−6.33，偏头角 20°、30°、40°时 t 值分别为−4.28，−6.86，−8.22，高低肩 10°、15°时 t 值分别为−5.58，−5.24，高低肩 15°、25°、35°、45°、55°时 t 值分别为−4.14，−5.25，−5.89，−17.03，−12.75。性别和年龄因素对主观疲劳评价结果影响无统计学意义（P 值均>0.05）。4 种坐姿的主观疲劳评价趋势相似，随着偏移角度增大，主观疲劳评分逐渐增加。见表 1。

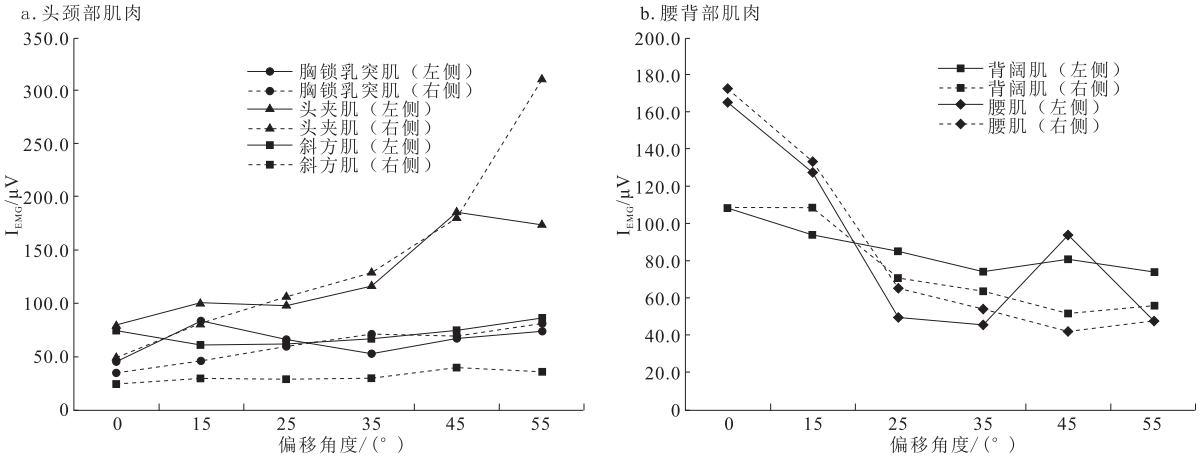


图 3　学龄儿童不同身体前倾角度下 I_{EMG} 趋势

Figure 3　I_{EMG} trends of schoolchildren during trunk forward inclination at different angles

表 1　不同坐姿偏移角度间儿童主观疲劳评价

Table 1　Evaluation of children's subjective fatigue among different sitting posture deviation angles

坐姿类型	偏移角度/(°)	主观评价得分
低头	30	2.8
	40	3.2
	50	3.8
偏头	20	3.3
	30	4.0
	40	2.8
高低肩	10	3.4
	15	3.5
身体前倾	15	3.2
	25	3.4
	35	3.9
	45	4.4
	55	4.5

2.2.2　学龄儿童不同坐姿类型出现主观疲劳的时长　主观评价结果表明，各坐姿类型在 5 min 内均出现疲劳。表 2 显示，不同坐姿下偏移不同角度，疲劳出现时间不同。参试人员在 3 min 内均出现轻度疲劳，尤其是在偏头坐姿及高低肩坐姿（1 min 内出现轻度疲劳）。偏移角度越大，越早出现中度疲劳。偏头>20°、身体前倾>35°坐姿在 5 min 内出现严重疲劳。

2.3　学龄儿童各坐姿类型主客观结合分析　为维持各偏移角度，相关肌肉需付出 N 倍努力，对比各坐姿不同偏移角度与初始坐姿的 I_{EMG} 得到倍数 N。表 2 显示，相比未偏移时，低头姿态的头夹肌需付出 2 倍以上努力，且角度超过 40°时达到 4 倍以上，从疲劳时间来看，角度大于 40°时，也更容易出现疲劳（1 min 内出现轻度疲劳，3 min 内出现了中度疲劳）。而偏头姿态的胸锁乳突肌及头夹肌>20°时均需付出 2 倍以上的努力，结合疲劳出现时间来看，各角度都是在短时间内出现疲劳，且角度>30°时均在 4 min 内出现疲劳，因此偏头姿态更容易产生疲劳。同样的，高低肩姿态头夹肌与斜方肌相比未偏移时均需付出 2 倍以上努力，也是短时间内出现轻、中度疲劳。身体前倾姿态的头夹肌在超过 25°时需付出 2 倍以上的努力，角度越大越

容易出现轻、中度疲劳,在>35°时更容易出现中、重度疲劳。

3 讨论

研究结果表明,不同坐姿下学龄儿童部分相关肌肉 I_{EMG} 在偏移角度间差异有统计学意义,I_{EMG} 及主观评价均随着偏移角度增加而增加,表明偏移角度越大,学龄儿童的疲劳程度越重。偏头及身体前倾坐姿易导致严重疲劳,低头角度过大及偏头易引起轻度或中度疲劳。

表 2 学龄儿童各坐姿类型疲劳程度主客观数据对比

Table 2 Comparative of subjective and objective data for various seated postures of school children in different sitting positors

坐姿类型	偏移角度/°	相比未偏移时 I_{EMG} 的倍数			从发生偏移到出现主观疲劳的时间/min		
		胸锁乳突肌(右侧)	头夹肌(右侧)	斜方肌(右侧)	轻度疲劳	中度疲劳	严重疲劳
低头	30	0.9	2.3		3	>5	>5
	40	1.3	2.4		2	5	>5
	50	1.7	4.4		1	3	>5
偏头	20	2.2	2.5		1	2	>5
	30	2.2	2.7		1	2	4
	40	2.6	3.1		1	2	4
高低肩	10		2.7	2.2	1	3	>5
	15		3.3	2.8	1	3	>5
身体前倾	15		1.6		2	5	>5
	25		2.2		2	4	>5
	35		2.6		1	3	>5
	45		3.7		1	2	3
	55		6.4		<1	1	3

随着电子产品的应用,静态肌肉疲劳影响群已慢慢扩展至学龄儿童。陈敏等[16-17]调查分析学龄儿童屏幕暴露时间发现,儿童使用视屏产品时间较长,部分甚至超过 2 h/d。乙胜等[18]对 1 057 名青少年学生进行颈椎病问卷调查发现,787 例学生有颈椎病。包木龙等[19]发现,每天低头时间>8 h、不良坐姿、不良睡姿均为影响 3~18 岁学生发生颈椎病的风险因素。原因可能是学龄儿童在写作业、观看电子产品时,长时间保持不良坐姿,加上自制能力不足,监管者若缺乏认识或重视不够而未及时采取有效干预,短时间容易导致学生肌肉疲劳,长期则可能引起骨性结构改变,造成严重后果。

本研究表明,儿童维持直立坐姿的时长较短,在约 5 min 后易出现支持不力。为维持长久的学习状态,往往会选取更舒适放松的姿态进行学习,与 Goncalves 等[20]研究结论一致,可能与儿童的骨骼生长及身体能力相关。因此,建议学习内容如网课等设计时长时考虑疲劳可忍受度,每 5 min 左右提醒儿童调整姿势,缓解维持直立坐姿带来的疲劳。

本研究未涉及长时间的姿态疲劳,未来将基于学龄儿童作业时长和屏幕暴露时长进行更深入的研究,从而形成有效指导。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突。

参考文献

[1] 李凯洋,郭建军,荣湘江,等.青少年特发性脊柱侧弯可控的危险因素分析[J].中国预防医学杂志,2023,24(1):73-76.
LI K Y, GUO J J, RONG X J, et al, Analysis of controllable risk factors for adolescent idiopathic scoliosis[J]. Chin Prev Med, 2023, 24(1):73-76.(in Chinese)

[2] 罗春燕,齐文娟,何鲜桂,等.上海市中小学生近视相关因素分析[J].中国学校卫生,2021,42(2):185-189.
LUO C Y, QI W J, HE X G, et al. Analysis of myopia related factors among primary and secondary school students in Shanghai[J]. Chin J Sch Health, 2021,42(2):185-189.(in Chinese)

[3] 徐帅,苏永佳,王振波,等. 中国大陆中小学生脊柱侧凸的患病特点:关于 72 项研究的 Meta 分析[J].中国脊柱脊髓杂志,2021,31(10):901-910.
XU S, SU Y J, WANG Z B, et al. The prevalence and characteristics of primary and middle-school students in China: a Meta-analysis based on 72 epidemiological research[J]. Chin J Spine Spinal Cord, 2021, 31(10):901-910.(in Chinese)

[4] GUO X H, LIU S, CHEN Z Q, et al. Cervical sagittal alignment in adolescent high dysplastic developmental spondylolisthesis: how does the cervical spine respond to the reduction of spondylolisthesis? [J]. J Orthop Surg Res, 2020, 15(1):243.

[5] 陈凯歌.基于 Kinect 交互技术的自适应儿童学习椅的设计与实现[D].杭州:浙江工业大学,2015.
CHEN K G. The design and implementation of adaptive study chair for children based on Kinect interactive technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2015.(in Chinese)

[6] PARK G, PARK S, LEE E, et al. A comparison of shoulder muscle activities on sitting posture and shoulder angle[J]. Phys Ther Rehabilit Sci, 2018(25):62-70.

[7] 王斯秋,王生泽,唐智,等. 基于表面肌电信号及视距的学龄儿童作业状态下跪式坐姿分析[J].东华大学学报(自然科学版),2022,48(3):63-68,74.
WANG S Q, WANG S Z, TANG Z, et al. Analysis of kneeling sitting of children in the working state based on surface electromyography and visual distance[J]. J Donghua Univ(Nat & Sci), 2022, 48(3):63-68,74.(in Chinese)

[8] 程文达,申黎明,张叙俊,等. 基于表面肌电和动态体压的办公坐姿疲劳测试[J].林业工程学报,2022,7(5):197-204.
CHENG W D, SHEN L M, ZHANG X J, et al. Research on fatigue of typical office sitting posture based on dynamic body pressure and surface electromyography[J]. J For Engineer, 2022, 7(5):197-204.(in Chinese)

[9] TAHERNEJAD S, RAZEGHI M, ABDOLI-ERAMAKI M, et al. Recommended maximum holding time of common static sitting postures of office workers[J]. Int J Occup Safety Ergonom, 2022, 29(2):847-854.

[10] 贾淼,杨钟亮,陈育苗. 面向地铁低头族的颈部疲劳 sEMG-JASA 评价模型[J].智能系统学报,2020,15(4):705-713.
JIA M, YANG Z L, CHEN Y M. An sEMG-JASA evaluation model for the neck fatigue of subway phubbers[J]. CAAI Tran Intell Systems, 2020, 15(4):705-713.(in Chinese)

(下转第 568 页)