

参赛队员姓名: 邹博宇, 蔡卓远

中学: 北京市第一〇一中学

省份: 北京市

国家/地区: 中国

指导教师姓名: 马丽霞

指导教师单位: 北京市第一〇一中学

论文题目: 基于AI实时的青少年坐姿风险评估

仅用于2022年龙桐中学科学奖公示
2022 S.-T. Yau High School Science Awards

基于 AI 实时的青少年坐姿风险评估

作者： 邹博宇，蔡卓远

年级： 高中一年级

学校： 北京市第一〇一中学

指导老师： 马丽霞（北京市第一〇一中学）

仅用于2022丘成桐中学科学奖公示
2022 S.-T. Yau High School Science Awards

目录

摘要.....	4
1. 引言.....	5
2. 系统软硬件设计方案.....	7
3. 性能测试和结果分析.....	13
4. 结论.....	16
5. 创新点.....	16
6. 收获体会.....	17
参考文献.....	18

仅用于2022丘成桐中学科学奖公示
2022 S.-T. Yau High School Science Awards

摘要

在疫情防控期间，我们观察到学生们每天在家长时间上网课，不良的坐姿对他们的身体健康造成了极大的危害。于是我们就想有没有一种方法能够实时检测学生的坐姿并提醒他们不良坐姿的风险，使青少年能尽早改正不正确的坐姿，从而避免肌肉骨骼病症等疾病的发生具有非常重要的现实意义。我们制作了一个配备 Intel mini-PC 和摄像头用于捕捉学生坐姿的实时视频的设备，并提出使用人工智能深度学习框架 Mediapipe 提取人体骨骼关键点和 RULA 人体工程学风险等级评估方法相结合，构建了人体骨骼关键点和姿态角度与 RULA 输入参数的映射，对青少年的坐姿进行实时的人体工程学风险的自动评估，并且能够在高风险等级时及时提醒学生改变坐姿。与当前基于专家观测的评估方法以及基于传感器检测的方法相比，该项目的优点是：能够基于 AI 进行帧与帧的实时学生学习坐姿风险分析，速度快，准确性高，适用于现场评估。实验证明，这是一种很有前途的用来防止青少年在家学习过程中坐姿不良的方法。

关键字：肌肉骨骼病症，深度学习框架 Mediapipe，RULA，AI，人体工程学风险评估。

1. 引言

今年因为新冠疫情卷土重来，学生们不得不重新在家上网课。在家学生需要每天超过六个小时面对小小的电子屏幕观看网课，长期保持一个姿势看电脑或手机，和在学校面对老师和大黑板讲课极为不同，上网课时不良的坐姿增加了学生的健康风险。许多家长也反应因为开学日期延迟，孩子在家上网课，每天盯着手机屏幕看，除了担心用眼过度导致的视疲劳和长时间坐姿不正确导致的腰酸背痛，现在又担心孩子因长时间上网课，坐姿不良而影响发育或引起骨骼病症。根据调查结果，我国脊柱侧弯发生率很高，目前我国脊柱侧弯病人的人数在飞速增长，占比最大的 8-16 岁的青少年群体。由此可见，脊柱侧弯对青少年有很大危害，严重影响青少年的身体健康。

【2】

坐姿不良一直是困扰着学生和家长的巨大社会难题。疫情期间在家上网课加大了这一社会问题。中学生上网课平均每天要坐 6-8 个小时以上，坐姿长时间不正确，脊柱就会在不经意间慢慢变化，逐渐产生驼背或脊柱侧弯等问题，甚至会严重影响孩子身体健康。因此肌肉骨骼疾病早发现早治疗十分重要。

所以这让我们想到了是否能用一种能够评估青少年的坐姿风险并提醒其纠正坐姿的方法来监督和改正他们的不良坐姿。于是我们查阅资料了解了现有的工作姿势的风险评估方法。【3】第一种是自我报告的方法，此方法主要通过分析员工工作记录，对员工进行访谈和问卷调查来收集他们认为的工作场所中对员工身体坐姿的不利因素。利用调查问卷和访谈的方式，被测者只需回复“是”或“否”进行简单作答便可，操作非常简单。自我报告的评估方法主要通过肌肉骨骼病症或疲劳相关的调查表收集数据，简单易用，成本较低，适用于广泛的工作场景。但它的缺点是回答较为主观，需要具备专业知识技能的专家才能准确地发现藏于解释数据中的问题，并且无法

满足实时的需求。第二种是基于专家观察的评估方法，这种方法通常采用现场拍照和录视频的方式记录被评估人员的工作姿态，随后由专家进行评估。专家观察被测者的工作过程，记录关于工作姿势的数据并结合评估方法完成身体姿态评估。评估方法中较为典型的有快速上肢评估 RULA 方法和快速全身评估 REBA 方法。这两种方法能够适应多种工作场合，能够用于对真正工作场景下员工姿势的检测，还能够实时记录员工工作姿态的改变，并通过分析人体多个关节部位得出姿势风险等级。但其评估方法较为繁琐，需要专家进行观测评估，这种评估时非实时的，当时由于专家的不同评估的结果也有差异。第三种是基于直接测量的评估方法，主要利用了连接在被测者身上的传感器实时检测身体姿势变化。此方法通常通过收集人体工作姿势数据来确定姿势风险水平，可以准确的提供人体参数的高精度数据。但传感器直接固定在应试者身上可能会导致不适，使其工作姿势产生变化，所以无法反映出真实的工作姿势。并且此方法还需投入大量费用购买设备，其操作也较为繁琐。第四种是基于深度图像识别的方法，此类方法虽然测量精准但也价格昂贵，无法遍及群体大众。【4】以上四种方法都具有一定的缺陷，所以我们就想用一种便携，价格适当且基于 AI 能够准确评估实时人体坐姿风险的方法。依照这个思路，开始了项目的开发。

评估方法	自我评估方法	基于专家观察的评估方法	基于传感器检测的方法	基于深度图像的方法
成本	低	较低	较高	高
评估范围	范围广，可研究	评估范围较小	评估范围小，可分析局部部位的风险水平	评估范围较小
适用性	适用于大数据量的分析调查	适用于现场个人评估	被测者需要佩戴传感器，适用于实验室模拟研究	适用于现场个人评估
准确性	较差	较高	高	高
时间	非常繁琐，通常需要几个月	非实时，需要拍摄图片或视频后由专家评	速度快，实时数据采集	速度快，实时图像识别和处理

		估，通常需要几天		
问题	时间长，评估问题广	因专家不同评估具有差异性	操作繁琐，易影响员工正常工作行为	专业设备不便于操作，价格昂贵

表 1: 现有的人体工程学姿态评估方法比较

2. 系统软硬件设计方案

2.1 系统硬件架构



图 1: 实验设备和摄像头

检测设备包含 MOREFINE 摩方 M6 迷你 PC 主机（Intel 赛扬 N5105 CPU），LCD 液晶屏和便携充电电池，以及普通 USB 摄像头，这里是用罗技 C260 摄像头。设备尺寸小，便于携带和布署，没有外接电源时可以用电池供电。

2.2 系统的软件设计

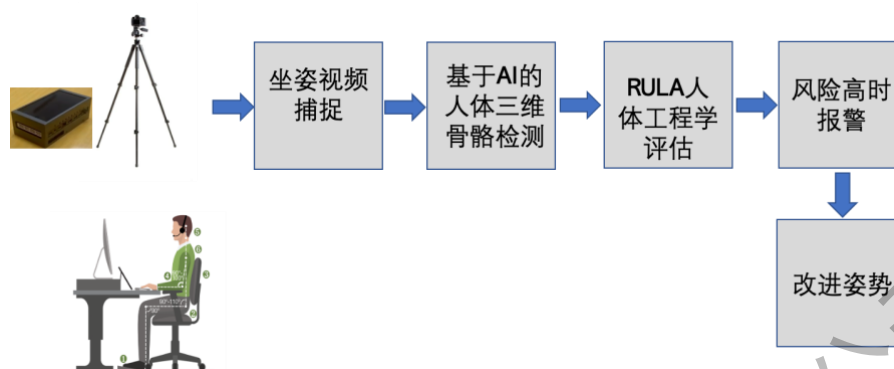
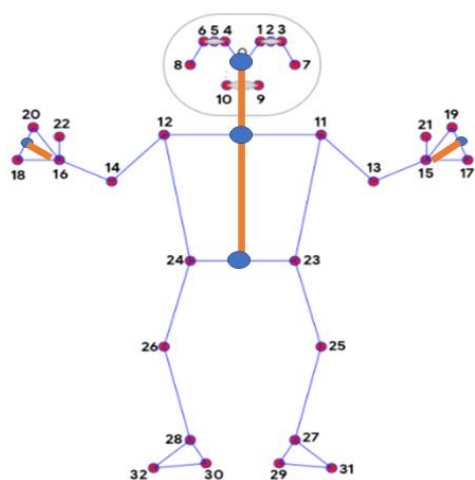


图 2：系统的软件工作流程

2.2.1 基于 Mediapipe 的人体姿态检测

人体骨骼关键点检测主要是用于检测人体的关键点信息，如关节、面部等，它可以通过提取出来的关键点来描述人体骨骼信息，是进行姿态行为分析的基础。目前，可以进行对人体的二维（2D）和三维（3D）身体骨骼关键点检测。随着人工智能技术的发展，产生了不同姿态检测的开源函数库，比如 openpose, mediapipe 等。

MediaPipe 是一款由 Google Research 开发并开源的多媒体机器学习模型应用框架，可以检测被测者包括人脸，手部关键点，人体姿态关键点等。MediaPipe 提供了快速推理函数库，它是一款跨平台框架，可以被部署在服务器端，多个移动端（安卓或 iOS）和嵌入式平台（Intel）中作为设备端机器学习推理框架。MediaPipe 是免费并且开源的函数库，它的项目地址是 <https://github.com/google/mediapipe>。MediaPipe Pose 是一种用于身体姿势跟踪的机器学习推理框架，它能够推理出视频帧中的人体 33 个关键点坐标。



- | | |
|--------------------|----------------------|
| 0. nose | 17. left_pinky |
| 1. left_eye_inner | 18. right_pinky |
| 2. left_eye | 19. left_index |
| 3. left_eye_outer | 20. right_index |
| 4. right_eye_inner | 21. left_thumb |
| 5. right_eye | 22. right_thumb |
| 6. right_eye_outer | 23. left_hip |
| 7. left_ear | 24. right_hip |
| 8. right_ear | 25. left_knee |
| 9. mouth_left | 26. right_knee |
| 10. mouth_right | 27. left_ankle |
| 11. left_shoulder | 28. right_ankle |
| 12. right_shoulder | 29. left_heel |
| 13. left_elbow | 30. right_heel |
| 14. right_elbow | 31. left_foot_index |
| 15. left_wrist | 32. right_foot_index |
| 16. right_wrist | |

Add 5 points

- 33. mid_ears
- 34. mid_shoulders
- 35. mid_hips
- 36. mid_fingers_left
- 37. mid_fingers_right

图 3: MediaPipe Pose 框架检测的人体骨骼关键点

MediaPipe Pose 提供了 33 个人体骨骼关键点的 3D 坐标,为了计算颈椎和手腕的角度,我们增加了五个关键点,分别是两个耳朵的中点,两个肩膀的中点,髋关节的中点,左右手小指和食指的中点。我们可以通过关键点计算主要关节的角度,包括颈,肩,腕,腰,髋,膝等关节的角度。【5】

2.2.2 基于 RULA 的人体工程学评估

快速上肢评估 (RULA) 是一种基于调查的方法,可以评估在不同工作场所与工作相关的肌肉骨骼疾病(MSDs)的人体工程学风险。它不需要任何人体工程学评估仪器,仅通过专家的观察进行评分。RULA 通过工作人员姿态评估工作表来评估包人体各个身体部位的运动、姿势、受力、重复和工作时间等风险因素。RULA 人体工程学评估方法还考虑了人在工作中颈部、躯干和上肢的受力情况和姿势负荷。

当使用 RULA 时,每次只评估右侧或左侧。在采访和观察工作人员后,评估者可以决定是只评估一只手臂还是需要对两个手臂进行评估。RULA 工作表被分为标有 A 和 B 的两个身体部分。A 部分(左侧)覆盖手臂和手腕。B 部分(右侧)覆盖颈部、躯干

和腿部。这部分工作表确保脖子、躯干或腿的任何尴尬或受约束的姿势都包括在评估中，这些姿势可能会影响手臂和手腕的姿势。评估者应先对 A 组(手臂和手腕)姿势进行评分，然后对 B 组(颈部、躯干和腿)左右姿势进行评分。对于每个区域，都有对姿态评分表和工作表的额外细微调整，这也是需考虑在评分中的。在收集每个部分的数据并进行评分后，生成一个代表 MSD 风险水平的评分。评估的最终得分分为人体工程学风险严重程度的 4 个等级，如 1-2 分代表可接受的姿势;得分 3-4 代表进一步调查，可能需要改变;5-6 分代表进一步调查，很快改变，7 分代表调查和实施改变。

【6】

RULA 风险等级	身体姿势风险等级
1-2	可以忽略的风险，无需做任何调整
3-4	低风险，可以改变姿势
5-6	中风险，需要更多的观测，要改变姿势
6+	高风险，立刻做出改变

表 2: RULA 风险等级

RULA 评估方法的使用流程，根据下列评分步骤，求得 RULA 的评估风险等级：

步骤一：观察工作人员上臂的弯曲角度，给出得分，如果肩膀抬高+1 分，手臂外扩+1 分，支撑手臂重量-1 分。

步骤二：观察工作人员前臂的弯曲角度，给出得分，如果前臂过中线或外扩+1 分。

步骤三：观察工作人员手腕的弯曲角度，给出得分，如果手腕侧转+1 分。

步骤四：观察工作人员手腕扭转姿势和扭转的角度，给出得分，如果保持 0 度无扭转+1 分，手腕扭转>0 度+2 分。

步骤五：用以上四步骤得出的分值定位到表 A 的分数。


步骤六：增加工作人员肌肉使用得分，如果姿势主要是静止状态或动作重复出现每分钟 4 次左右+1 分。

步骤七：观察工作人员姿势力量/负荷，因为我们观察的是学生坐姿，通常没有负荷，所以没有加分。

步骤八：增加来自步骤 5-7 的值去获得手腕和手臂分数，找到表 C 对应的排。

A. Arm and Wrist Analysis


Step 1: Locate Upper Arm Position:



Step 1a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

Upper Arm Score

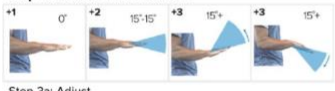
Step 2: Locate Lower Arm Position:



Step 2a: Adjust...
If either arm is working across midline or out to side of body: Add +1

Lower Arm Score


Step 3: Locate Wrist Position:



Step 3a: Adjust...
If wrist is bent from midline: Add +1

Wrist Twist Score

Step 4: Wrist Twist:



If wrist is twisted in mid-range: +1
If wrist is at or near end of range: +2

Wrist Score

Scores

Table A		Wrist Score						
Upper Arm	Lower Arm	1	2	3	4			
		Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist			
1	1	1	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	5	5	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6
	2	5	6	6	6	6	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8
	2	8	8	8	8	8	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9

图 4: RULA 上臂，前臂和手腕的评分

步骤九：观察工作人员颈部的弯曲角度，给出得分，如果颈部扭转或侧弯+1 分。

步骤十：观察工作人员身躯的弯曲角度，给出得分，如果身躯扭转或侧弯+1 分。

步骤十一：观察工作人员腿部的姿势，给出得分，如果腿和脚受支撑+1 分，没有支撑+2 分。

步骤十二：用步骤 9-11 得出的分值定位到表 B 的分数。

步骤十三：增加工作人员肌肉使用得分，如果姿势主要是静止状态或动作重复出现每分钟 4 次左右+1 分。

步骤十四：观察工作人员姿势力量/负荷，因为我们观察的是学生坐姿，通常没有负荷，所以没有加分。

步骤十五：增加来自步骤 12-14 的值去获得颈，身躯和腿的分数，找到表 C 对应的列。**【7】**

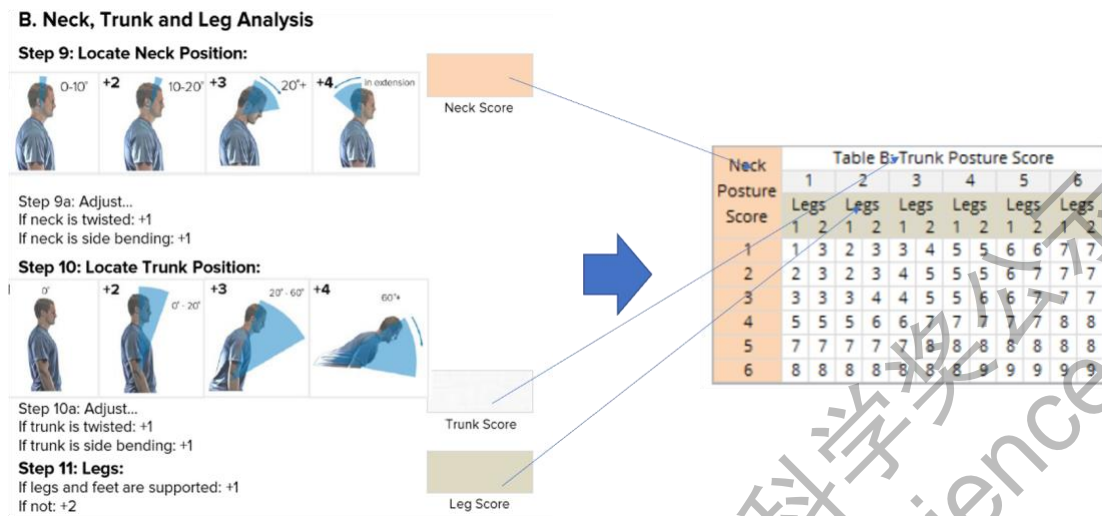


图 5: RULA 颈，躯干和腿的评分

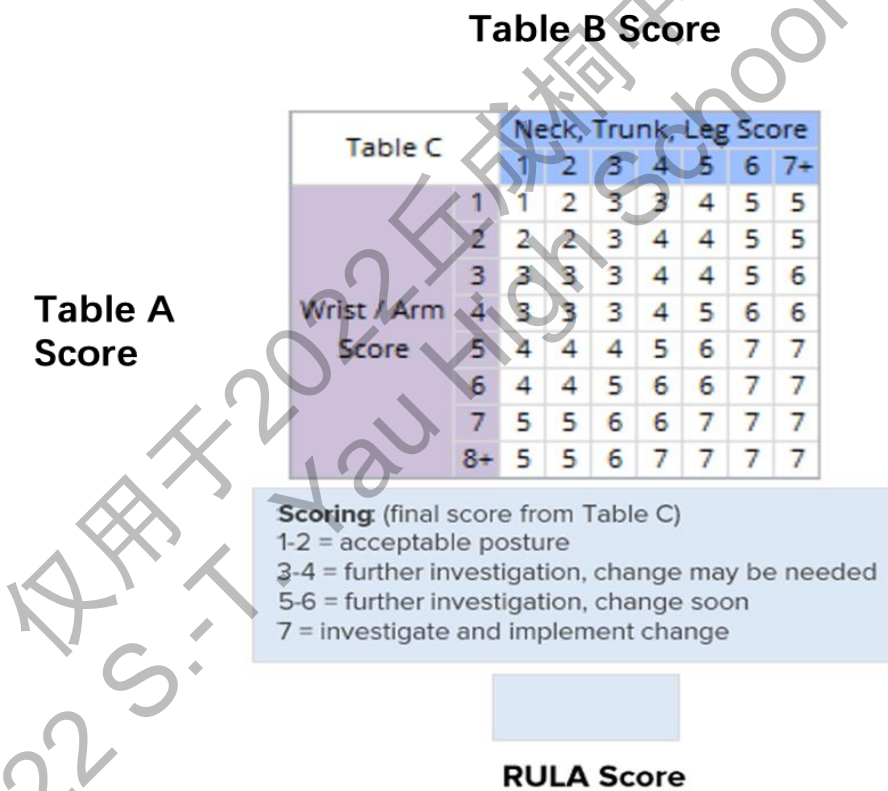


图 6: RULA 综合评分

2.3 青少年姿势关键点和角度与 RULA 的关联 **【8】**

以摄像头在左侧为例

肢体 (分数)	角度	计算方式	说明
Upper arm	flexion	Angle (13,11,23)	
	abduction	Angle3D (13,11,23)	
Lower arm	flexion	Angle (11,13,15)	
	midline	Left_wrist.z>0	如果 z 值>0,说明手腕越过中线
wrist	flexion	180-Angle3D(36,15,13)	
	bend	0	学生正常学习时简化计算,取值为 0
	twist	0	学生正常学习时简化计算,取值为 0
neck	flexion	180-Angle(33,34,35)	
	twist	Left_ear.x != right_ear.x	如果左耳和右耳的 x 值不一样,我们认为颈部有旋转
	side-bending	Left_ear.y != right_ear.y	如果左耳和右耳的 y 值不一样,我们认为颈部有侧倾
trunk	flexion	90-Angle(11,23,25)	90 度是标准坐姿的角度
	twist	Left_shoulder.x != right_shoulder.x	如果左肩和右肩的 x 值不一样,我们认为躯干有旋转
	side-bending	Left_shoulder.y != right_shoulder.y	如果左肩和右肩的 y 值不一样,我们认为躯干有侧倾

表 3: 坐姿关键点和角度与 RULA 输入参数的关联

表中, $\text{Angle}(A,B,C)$ 代表二维平面线段 BA 和 BC 的夹角, A,B,C 代表平面中的三个点, 以坐标表示 (x,y) 。 $\text{Angle3D}(A,B,C)$ 代表三维空间矢量 BA 和 BC 的夹角, A,B,C 代表空间中的三个点, 以坐标表示 (x,y,z) 。

总结一下, 我们通过上表建立了用 mediapipe 提取出的关键点和关节角度与 RULA 风险评估方法的要求的输入参数关联起来了。

3. 性能测试和结果分析

为了验证 RULA 坐姿评估程序的效果，我们拍摄了三段视频做测试，其中两个视频是拍摄的同学 1 坐姿视频，另一个是同学 2 的坐姿视频。这三段视频的帧数和每帧分辨率如下：

视频	帧数	每帧分辨率	说明
Zby003.mp4	460	640 x 480	同学 1 的视频
zby005.mp4	380	640 x 480	同学 1 的视频
student-002.mp4	1830	368 x 654	同学 2 的视频

表 4: 实验用的视频及其参数



图 7: 实验用的视频

运行程序，分别对这三段视频进行检测：



图 8a: 视频一的坐姿风险评估

Average RULA = 3.736

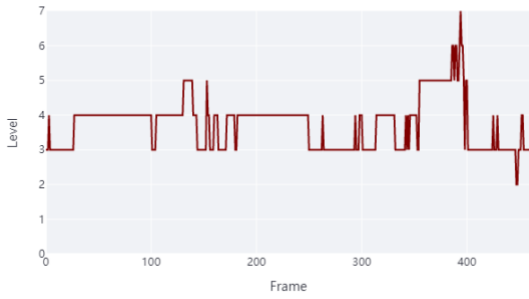


图 8b:视频一 RULA 风险评估折线图

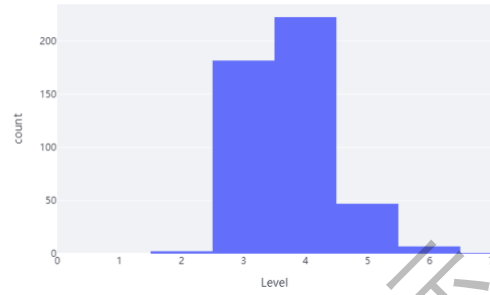


图 8c: 视频一 RULA 风险评估直方图

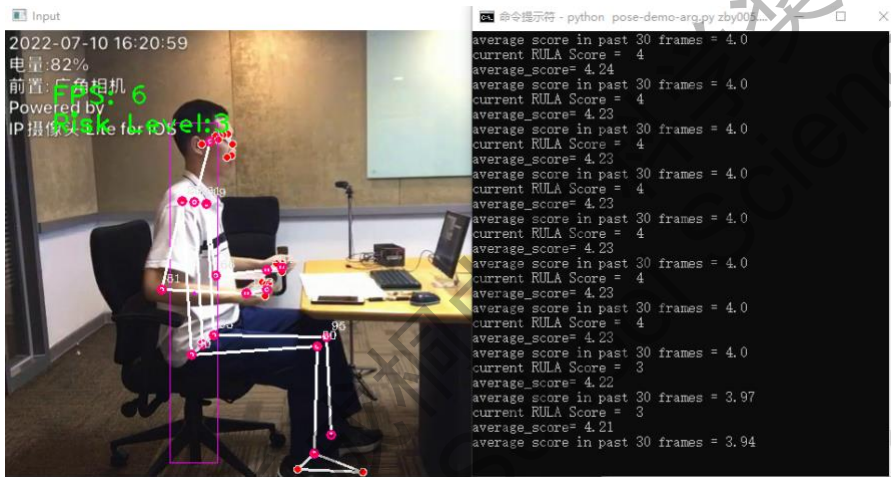


图 9a:视频二的坐姿风险评估

Average RULA = 4.189

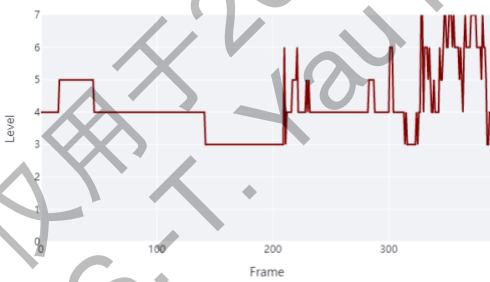


图 9b:视频二 RULA 风险评估折线图

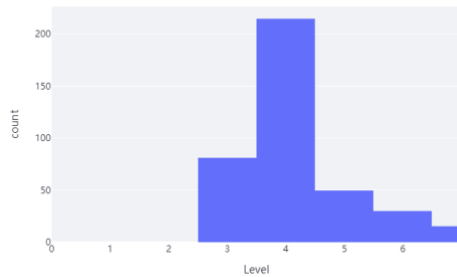


图 9c:视频二 RULA 风险评估直方图

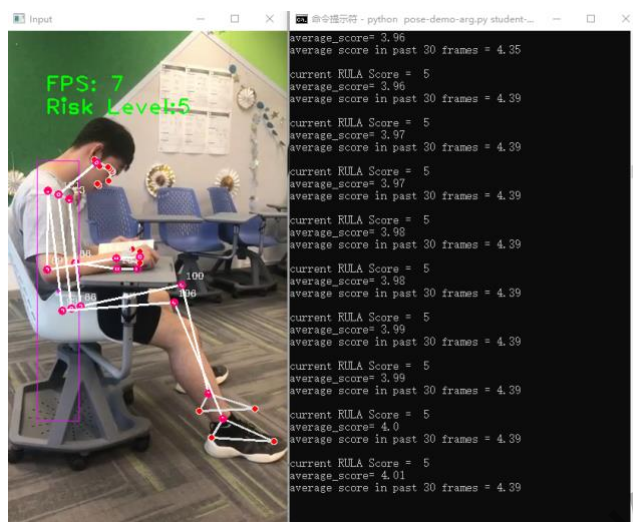


图 10a:视频三的坐姿风险评估

Average RULA = 3.888

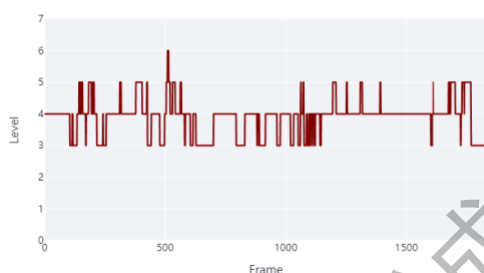


图 10b: 视频三 RULA 风险评估折线图

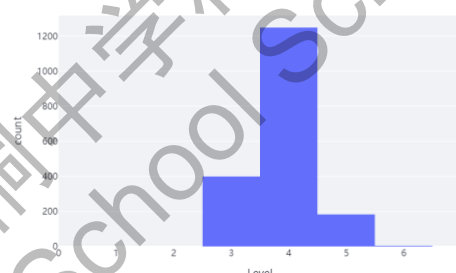


图 10c: 视频三 RULA 风险评估直方图

4. 结论

- 本项目的创新点在于基于 MediaPipe 机器学习框架提取人体骨骼关键点并和 RULA 人体工程学风险等级评估方法相结合，构建了人体骨骼关键点和关节角度与 RULA 输入参数的映射。项目可以拍摄学生坐姿的实时视频，自动进行评估。测试结果表明程序处理时能够清晰反映出人体骨骼关键点和风险等级，并且能够在风险等级高时及时提醒学生改变坐姿。
- 我们制作了便携的检测设备包含 Intel mini PC, LCD 显示屏和充电电池，设备便于布署。

- 同时，我们还可以看到基于 AI 实时的青少年坐姿风险评估存在需要提高的地方。因为系统 CPU 的处理能力和功耗的限制，有时处理视频每帧速度较慢，未来会选用低功耗更强大计算能力的设备。
- 在未来，计划采集中小学不同年龄段学生的坐姿视频，使用我们的设备去做人体工程学风险等级评估，分析学生的坐姿风险和年龄分布。帮助高风险的青少年群体尽早地监测不良坐姿，预防肌肉骨骼疾病的发生。

5. 收获体会和致谢

从 2022 年年初到现在历时大约九个月，我们终于完成了从项目的计划，实施到撰写论文报告的目标。在疫情防控期间，我们观察到学生们每天在家长时间上网课，不良的坐姿对他们的身体健康造成了极大的危害。于是我们就想有没有一种方法能够实时检测学生的坐姿并提醒他们改正自己的不良坐姿，使他们能尽早改正不良坐姿，避免肌肉骨骼病症等疾病的发生。在项目研究中，邹博宇同学负责了整个系统的框架设计，设备的选型和系统实现。蔡卓远同学负责搜集肌肉骨骼病症的相关资料，收集同学视频和实验测试。马丽霞老师在整个项目的方向和研究思路给出了明确清晰的指导，在实验环节指导我们如何验证三维骨骼关节角度的准确性以及人体工程学评估和骨架提取的有机结合。在她的指导下，我们一步步的了解了撰写论文的要求和关键点，完成了论文的撰写。并且她还热心的无偿帮助我们收集学生们实验用的视频。

参考文献

- 【1】 王鑫, 杨西文, 杨卫波. 人体工程学[M].北京: 中国青年出版社, 2012.
- 【2】 健康时报网, 定了! 青少年脊柱侧弯预防与治疗成为国策, 这些事您必须知道! , <http://www.jksb.com.cn/index.php?m=wap&a=show&catid=27&id=169474>
- 【3】 张瑞秋, 李泽, 李育齐, 等. 肌肉骨骼疾患风险评估方法趋势研究. 包装工程, 2020, 41(14): 49-58.
- 【4】 F. Buisseret, etc. Ergonomic Risk Assessment of Developing Musculoskeletal Disorders in Workers with the Microsoft Kinect: TRACK TMS, www.elsevier.com/locate/irbm.
- 【5】 MediaPipe Pose, MediaPipe, [Pose - mediapipe \(google.github.io\)](https://github.com/google/mediapipe).
- 【6】 Hedge, A., RULA Employee Assessment Worksheet. Ithaca, NY: Cornell University, 2000.
- 【7】 Kian Sek Tee, Eugene Low, Hashim Saim, et al. AIP Conference Proceedings 1883,020034(2017); <https://doi.org/10.1063/1.5002052> Published Online: 14 September 2017.
- 【8】 Mark Middlesworth, RULA: A Step-by-Step Guide, Ergonomics Plus Inc, www.ergo-plus.com.
- 【9】 Cvzone, [GitHub - cvzone/cvzone: a Computer vision package that makes its easy to run Image processing and AI functions. At the core it uses OpenCV and Mediapipe libraries.](https://github.com/cvzone/cvzone)

【10】 F. Buisseret, etc. Ergonomic Risk Assessment of Developing Musculoskeletal

Disorders in Workers with the Microsoft Kinect: TRACK TMS,

www.elsevier.com/locate/irbm.

仅用于2022丘成桐中学科学奖公示
2022 S.-T. Yau High School Science Awards

仅用于2022丘成桐中学科学奖公示
2022 S.-T. Yau High School Science Awards