

## 基于二维摄影测量脸型的面罩适合性检验分析

韩晶<sup>1,2</sup> 杨万杰<sup>3</sup> 康波<sup>4</sup> 史丽霞<sup>1</sup> 贾敬波<sup>5</sup> 王湘<sup>6</sup> 于维莉<sup>6</sup>

<sup>1</sup>天津大学海河医院医务科,天津 300350; <sup>2</sup>天津市呼吸疾病研究所,天津 300350; <sup>3</sup>天津大学海河医院重症医学科,天津 300350; <sup>4</sup>国家超级计算天津中心,天津 300457; <sup>5</sup>天津大学海河医院<sup>5</sup>结核科, <sup>6</sup>感染管理科,天津 300350

通信作者:杨万杰, Email: yangwanjie0709@126.com

**【摘要】** 目的 分析各种品牌医用防护口罩的适合性检验通过率,探讨快速根据头面尺寸匹配医用防护口罩的方法。方法 选择天津市定点医院的 202 名医务人员作为研究对象,对 A、B、C、D、E 5 种品牌口罩采用气溶胶凝结核计数器进行定量适合性检验。采用二维摄影测量获取研究对象形态面长及面宽,对应颜面分栏将研究对象脸型归为 #1~#10 类。比较各颜面分区研究对象口罩通过率、不同品牌口罩测试通过率、不同脸型研究对象各种口罩测试通过率的差异。结果 共有 202 名测试人员参加本研究。根据颜面分栏,其中 #1 类脸型占比最多 [43.6% (88/202)], 其次为 #3 类脸型 [18.2% (37/202)], 研究对象多为 #1、#2、#3、#4 类脸型,共 176 名,占 87.1%。202 名测试者共进行 914 次测试,通过次数 678 次,整体口罩通过率为 74.18%。A、B、C 3 种品牌口罩通过率明显高于 D、E 口罩 [87.03% (161/185)、85.57% (166/194)、82.02% (146/178) 比 62.98% (114/181)、51.70% (91/176), 均  $P < 0.05$ ], 头戴式可调节口罩通过率明显高于不可调节口罩 [79.54% (587/738) 比 51.70% (91/176),  $P < 0.05$ ], B 品牌口罩对 #1~#5 类脸型的适合因数 (FF) 明显高于 #6~#10 类脸型 [200 (163, 200) 比 132 (86, 200),  $P < 0.05$ ]。结论 通过二维摄影测量可以快速获得研究对象面部信息并匹配相应口罩,医院在配置时可根据医务人员脸型分区占比情况匹配测试通过率较高的口罩。在口罩选择中,尽量选择头戴式可调节口罩。

**【关键词】** 医务人员; 防护性口罩; 适合性检验

**基金项目:** 天津市科技计划项目 (23JCZDJC00970, 23JCQNJC01490); 天津市津南区科技计划项目 (20230111); 天津市医学重点学科 (专科) 建设项目 (TJYXZDXK-063B)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2024.03.014

### Analysis of mask fit testing based on two-dimensional photographic measurement of facial shape

Han Jing<sup>1,2</sup>, Yang Wanjie<sup>3</sup>, Kang Bo<sup>4</sup>, Shi Lixia<sup>1</sup>, Jia Jingbo<sup>5</sup>, Wang Xiang<sup>6</sup>, Yu Weili<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Department of Medical Management, Haihe Hospital, Tianjin University, Tianjin 300350, China; <sup>2</sup>Tianjin Institute of Respiratory Diseases, Tianjin 300350, China; <sup>3</sup>Department of Critical Care Medicine, Haihe Hospital, Tianjin University, Tianjin 300350, China; <sup>4</sup>National Super Computer Center in Tianjin, Tianjin 300457, China; <sup>5</sup>Department of Tuberculosis, <sup>6</sup>Department of Infection Control, Haihe Hospital, Tianjin University, Tianjin 300350, China

Corresponding author: Yang Wanjie, Email: yangwanjie0709@126.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the pass rates of fit tests for various brands of medical protective masks and to explore methods for quickly matching these masks based on their head and face dimensions. **Methods** A total of 202 medical staff from designated hospitals in Tianjin were selected as subjects. Quantitative fit tests were conducted on 5 brands of masks (A, B, C, D, and E) using an aerosol condensation nucleus counter. Two-dimensional photographic measurement was used to obtain the face length and width of the subjects, categorizing them into face types #1 to #10. The pass rates of masks across different face zones, brands, and face types were compared. **Results** A total of 202 testers participated in this study. According to the guidelines, face type #1 was the most common [43.6% (88/202)], followed by face type #3 [18.2% (37/202)]. The majority of subjects were categorized as face types #1, #2, #3, and #4, totaling 176 subjects (87.1%). A total of 914 tests were conducted, with 678 passes, resulting in an overall mask pass rate of 74.18%. The pass rates of masks A, B, and C were significantly higher than those of masks D and E [87.03% (161/185), 85.57%, (166/194), 82.02% (146/178) vs. 62.98% (114/181), 51.70% (91/176), all  $P < 0.05$ ]. The pass rate of adjustable head-mounted masks was significantly higher than that of non-adjustable masks [79.54% (587/738) vs. 51.70% (91/176),  $P < 0.05$ ]. The fit factor (FF) for mask B in face types #1 to #5 was significantly higher than that in face types #6 to #10 [200 (163, 200) vs. 132 (86, 200),  $P < 0.05$ ]. **Conclusions** Two-dimensional photographic measurement can quickly obtain facial information of the subjects and match the corresponding masks. Hospitals can match masks with higher test pass rates according to the proportion of face types among medical staff. When selecting masks, preference should be given to adjustable head-mounted masks.

**【Key words】** Medical staff; Protective mask; Fitness test

**Fund program:** Tianjin Science and Technology Plan Project (23JCZDJC00970, 23JCQNJC01490); Tianjin Jinnan District Science and Technology Plan Project (20230111); Tianjin Key Medical Discipline (Specialty) Construction Project (TJYXZDXK-063B)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2024.03.014

医院作为传染病发现及救治的前哨场所,在应对和控制疫情方面起着重要的作用。近年来,呼吸道传染病新发,患病例数增加,防控难度大,医用防护口罩对特定呼吸道传染病的感染防控非常关键。一项针对英国和美国 200 多万例患者的前瞻性研究显示,与普通人群相比,一线医护人员新型冠状病毒检测呈阳性的可能性是普通人群的 11 倍以上<sup>[1]</sup>。为了解医务人员使用不同类型口罩的适合性,建立佩戴者面部特征与口罩的匹配关系,本研究对定点医院的医务人员进行口罩适合性检验,并通过二维摄影模式面部测量数据,以寻求根据佩戴者的面部特征快速选择适合性达到要求口罩的方法。

## 1 对象与方法

**1.1 研究对象:**选取天津市某突发公共卫生事件定点医院不同岗位、不同类别的工作人员参与研究。人员岗位按照呼吸道传染病暴露风险分级和人员在高风险(发热门诊、感染病区)、中风险(急诊科、呼吸科)、低风险(普通病区)岗位分别抽取,人员类别覆盖医、护、技、工勤,共选择 202 名医护、行政后勤人员作为研究对象。本研究符合医学伦理学标准,并经天津大学海河医院医学伦理委员会审核批准(审批号:2024HHYYWZ-002)。

## 1.2 方法

**1.2.1 N95 防护口罩的选择:**符合中国国家标准《GB19083-2010 医用防护口罩技术要求》标准解读<sup>[2]</sup>中的 5 种品牌口罩。A、B、C、D、E 均为折叠形医用防控口罩,其中 A、B、C、D 为头戴式可调节口罩,E 为头戴式不可调节口罩。

**1.2.2 测试方法:**测量研究对象的头面部尺寸,并根据国家卫生健康委制定的《GBZ/T 276-2016 自吸过滤式呼吸防护用品适合性检验颜面分栏》<sup>[3]</sup>对研究对象进行脸型分区。研究对象通过佩戴 5 种不同品牌、不同规格的口罩进行适合性检验。分析头面部尺寸与口罩型号之间的匹配程度,以确定哪些型号的口罩更适合特定尺寸的头面部。研究对象在通过口罩密合性后进行适合性检验,在测试人员指导下完成弯腰、说话、左右转头、仰头-低头 4 个动作,每个动作重复测量 3 次,取适合因数(fit factor, FF)的几何均值。研究对象佩戴每种防护口罩所进行的 3 次测试中有至少 2 次通过即为通过测试,说明该口罩达到防护要求,通过率为通过者占总测试者的百分比。测试机器为美国 TSI 8038 面罩密合度检测仪(软件 3.3 版本),根据美国职业安全与健康管

理局 29CFR1910.134 标准<sup>[4]</sup>,快速监测具有与标准测试等同的效能,本研究采用快速检测方法,每次监测 4 个动作 2 min 29 s。采用定量适合性测试凝核计数器法(condensation nuclei count, CNC),检测受试对象在佩戴呼吸防护用品模拟作业活动过程中,呼吸防护用品外部微粒浓度与漏入内部微粒浓度的比值,FF 的取值范围为 0~200,总 FF $\geq$ 100,表明所选医用防护口罩适合该受试对象。

**1.3 脸型数据采集:**本研究对以下头面部尺寸进行测量<sup>[3]</sup>:①面宽:左、右颧点之间的直线距离;②形态面长:鼻根点和颏下点之间的距离。

研究对象图像使用 2 000 万像素数码相机拍摄,该相机位于三脚架上,固定距离为 1.0 m。三脚架根据每个研究对象的身高保持相机稳定性和正确的高度。对于每个研究对象拍摄 1 张正面和 1 张侧面照片。背景为 1 cm 方格组成,所有图像均以 jpeg 格式拍摄,并在每天拍摄后传输到计算机中,人体测量尺寸使用单步密集人脸定位方法计算。人脸模型在多尺度人脸图像上进行逐像素定位,预测得到人脸框和对应的 68 个人脸关键点,并通过对眼睛、下巴等多个关键点测距完成人脸的图形距离测算。随后,自适应截取网格部分通过 opencv 标准霍夫线性变换完成对图像网格的距离测算,最后,借助人脸图像距离和网格距离得到最终的人脸实际距离。

**1.4 统计学分析:**FF>100 表示通过测试,进而计算通过率。采用 SPSS 23.0 统计软件进行数据分析。对于符合正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x}\pm s$ )描述其集中和离散趋势;偏态分布的计量资料以中位数(四分位数)[ $M(Q_L, Q_U)$ ]表示,采用非参数检验。计数资料以名(百分比)表示,采用 $\chi^2$ 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 测试人员基本情况:**共有 202 名测试人员参加本研究,其中医生 19 名,护士 173 名,医技人员 1 名,工勤人员 9 名;男性 22 名(10.89%),女性 180 名(89.11%);平均年龄( $34.88\pm 8.23$ )岁;体质量指数(body mass index, BMI)为( $22.87\pm 3.62$ ) $\text{kg/m}^2$ ,根据颜面分栏,将研究对象颜面分区分为 #1~#10 类,其中 #1 类脸型占比最多[43.6%(88/202)],其次为 #3 类[18.2%(37/202)],医务人员多为 #1、#2、#3、#4 类脸型,共 176 名,占 87.1%。超出范围测试人员的形态面长为 83.00~96.36 mm,面宽为 118.00~125.00 mm,定义为<#1 组。颜面分区及占比见图 1。

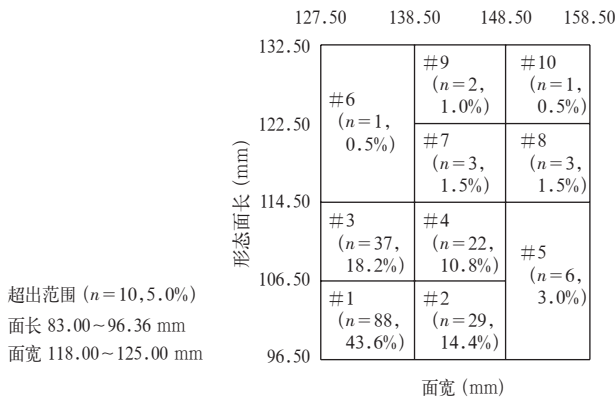


图 1 基于二维摄影测量脸型的口罩适合性检验分析研究对象颜面分区情况

2.2 测试对象头面部及 BMI 基本情况(表 1): 202 名测试对象中,形态面长 82.00 ~ 130.50 mm, 平均(103.66 ± 7.44)mm; 面宽 118.00 ~ 154.98 mm, 平均(135.37 ± 7.47)mm; BMI 16.82 ~ 36.73 kg/m<sup>2</sup>, 平均(22.87 ± 3.62)kg/m<sup>2</sup>。

表 1 基于二维摄影测量脸型的口罩适合性检验分析研究对象各颜面分区头面部数据及 BMI 情况(̄x ± s)

脸型	人数 (名)	形态面长 (mm)	面宽 (mm)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
#1 类	88	99.97 ± 3.82	131.26 ± 4.46	21.89 ± 2.84
#2 类	29	101.98 ± 4.33	142.59 ± 2.58	24.58 ± 4.60
#3 类	37	108.94 ± 2.01	133.82 ± 3.48	22.21 ± 3.40
#4 类	22	110.45 ± 2.75	142.23 ± 2.49	24.34 ± 3.22
#5 类	6	108.10 ± 4.48	151.61 ± 2.38	26.44 ± 4.66
#6 类	1	117.50 ± 0.00	136.00 ± 0.00	22.60 ± 0.00
#7 类	3	116.67 ± 2.08	140.08 ± 0.88	26.91 ± 4.19
#8 类	3	115.73 ± 3.18	150.67 ± 0.58	25.95 ± 2.71
#9 类	2	126.75 ± 5.30	143.00 ± 4.24	24.25 ± 4.94
#10 类	1	125.00 ± 0.00	152.00 ± 0.00	26.85 ± 0.00
超出范围 (<#1 组)	10	88.06 ± 6.09	122.17 ± 2.83	20.70 ± 2.92

2.3 各颜面分区口罩通过率比较(表 2):共有 202 名测试人员进行 914 次测试,通过测试次数 678 次,整体口罩测试通过率为 74.18%。由于 #6 ~ #10 类脸型数据测试者样本量不足,因此合并为 #6 ~ #10 组。结果显示, #4 类脸型通过率最高, <#1 组脸型通过率最低。7 类颜面分型口罩通过率比较差异无统计学意义(χ<sup>2</sup>=6.616, P=0.358)。

2.4 不同品牌口罩通过率比较(表 3):本研究共选取 5 种口罩进行测试。口罩通过率依次为: A > B > C > D > E。其中 A、B、C 品牌的口罩通过率比较差异无统计学意义(P > 0.05), A、B、C 品牌的口罩通过率均明显高于 D、E 品牌,差异有统计学意义(均 P < 0.05), D 品牌的口罩通过率明显高于 E 品

牌,差异有统计学意义(P < 0.05)。头戴式可调节口罩的整体通过率明显高于头戴式不可调节口罩(P < 0.05)。

表 2 基于二维摄影测量脸型的口罩适合性检验分析研究对象各颜面分区口罩通过率比较

脸型	人数 (名)	通过次数 (次)	测试次数 (次)	通过率 (%)
#1 类	88	293	392	74.74
#2 类	29	98	128	76.56
#3 类	37	131	174	75.29
#4 类	22	76	99	76.77
#5 类	6	18	27	66.67
#6 ~ #10 组	10	35	49	71.43
<#1 组	10	27	45	60.00
总体	202	678	914	74.18

表 3 基于二维摄影测量脸型的口罩适合性检验分析研究对象各品牌口罩通过率比较

口罩品牌	通过次数(次)	测试次数(次)	通过率 (%)	口罩品牌	通过次数(次)	测试次数(次)	通过率 (%)
A	161	185	87.03 <sup>ab</sup>	ABCD(头戴式可调节口罩)	587	738	79.54
B	166	194	85.57 <sup>ab</sup>	E(头戴式不可调节口罩)	91	176	51.70 <sup>bc</sup>
C	146	178	82.02 <sup>ab</sup>				
D	114	181	62.98				
E	91	176	51.70 <sup>a</sup>				

注:与 D 品牌口罩比较,<sup>a</sup>P < 0.05;与 E 品牌口罩比较,<sup>b</sup>P < 0.05;与 ABCD(头戴式可调节口罩)比较,<sup>c</sup>P < 0.05

2.5 不同脸型各种口罩的通过率比较(表 4 ~ 5; 图 2):每名研究对象试戴不同品牌口罩, #1 类脸型的口罩通过率前 3 位为 A、B、C 品牌口罩, #2 类脸型的口罩通过率前 3 位为 C、A、B 口罩品牌, #3 类脸型的口罩通过率前 3 位为 B、A、C 口罩品牌, #4 类脸型的口罩通过率前 3 位为 C、B、A 口罩品牌, #5 类脸型的口罩通过率前 3 位为 D、A、E 口罩品牌, #6 ~ #10 类脸型的口罩通过率前 3 位为 C、A、E 口罩品牌, <#1 组脸型的口罩通过率前 3 位为 B、C、A 口罩品牌。各组前 3 种品牌口罩的通过率比较差异无统计学意义(P > 0.05)。根据各品牌口罩对各脸型进行非参数检验,比较 FF, B 品牌口罩差异有统计学意义(P < 0.05)。B 品牌口罩 <#1 ~ #5 组的 FF 明显高于 #6 ~ #10 组(P < 0.05)。

表 4 不同品牌口罩各脸型 FF 的非参数检验结果

口罩品牌	测试次数 (次)	FF [M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> )]		H 值	P 值
		<#1 ~ #5 组	#6 ~ #10 组		
A	185	200.0(163.0, 200.0)	153.5( 89.3, 200.0)	9.559	0.144
B	194	200.0(163.0, 200.0)	132.5( 85.8, 200.0)	13.319	0.038
C	178	136.0( 73.5, 193.0)	125.0( 46.0, 193.0)	11.398	0.077
D	181	200.0(126.8, 200.0)	200.0(137.2, 200.0)	5.849	0.440
E	176	99.5( 33.3, 194.8)	172.0( 45.3, 195.0)	6.826	0.337

表 5 基于二维摄影测量的不同脸型中不同口罩类型口罩适合性检验通过率单因素分析

脸型	口罩品牌	通过人数(名)	测试人数(名)	通过率(%)	FF [M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> )]	χ <sup>2</sup> /Z 值	P 值
#1类 (88名)	A	74	81	91.36	200.0(161.0, 200.0)	5.373	0.068
	B	73	84	86.90	200.0(154.0, 200.0)		
	C	63	80	78.75	200.0(107.0, 200.0)		
	D	44	74	59.46	122.0( 67.5, 193.3)		
	E	39	73	53.42	105.0( 25.0, 183.0)		
#2类 (29名)	C	23	24	95.83	200.0(179.3, 200.0)	2.508	0.285
	A	22	25	88.00	200.0(153.0, 200.0)		
	B	22	27	81.48	194.0(115.0, 200.0)		
	D	16	26	61.54	132.0( 77.5, 186.3)		
	E	15	26	57.69	122.0( 52.3, 200.0)		
#3类 (37名)	B	34	37	91.89	200.0(177.5, 200.0)	4.656	0.098
	A	32	35	91.43	200.0(173.0, 200.0)		
	C	26	34	76.47	200.0(110.5, 200.0)		
	D	26	36	72.22	133.5( 90.0, 185.0)		
	E	13	32	40.63	76.5( 29.3, 183.5)		
#4类 (22名)	C	16	17	94.12	200.0(164.5, 200.0)	1.233	0.540
	B	18	21	85.71	200.0(163.0, 200.0)		
	A	16	20	80.00	200.0(194.0, 200.0)		
#5类 (6名)	D	15	20	75.00	153.5( 96.8, 200.0)	0.336	0.846
	E	11	21	52.38	109.0( 34.0, 200.0)		
	D	5	6	83.33	162.0(100.5, 200.0)		
#6 ~ #10类 (10名)	A	3	4	75.00	162.0( 36.3, 200.3)	4.520	0.104
	E	4	6	66.67	200.0( 47.8, 200.0)		
	C	3	5	60.00	154.0( 12.0, 184.5)		
#6 ~ #10类 (10名)	B	3	6	50.00	125.0( 65.0, 184.3)	4.520	0.104
	C	9	9	100.00	200.0(170.5, 200.0)		
	A	8	10	80.00	153.5( 89.3, 200.0)		
#6 ~ #10类 (10名)	E	7	10	70.00	160.0( 32.0, 200.0)	4.520	0.104
	B	7	10	70.00	133.0( 71.8, 200.0)		
	D	4	10	40.00	91.5( 32.3, 150.0)		
<#1组 (10名)	B	9	9	100.00	200.0(194.5, 200.0)	4.751	0.093
	C	6	9	66.67	162.0( 21.5, 199.0)		
	A	6	10	60.00	196.5( 38.3, 200.0)		
	D	4	9	44.44	76.0( 52.0, 191.0)		
	E	2	8	25.00	48.5( 7.0, 139.8)		

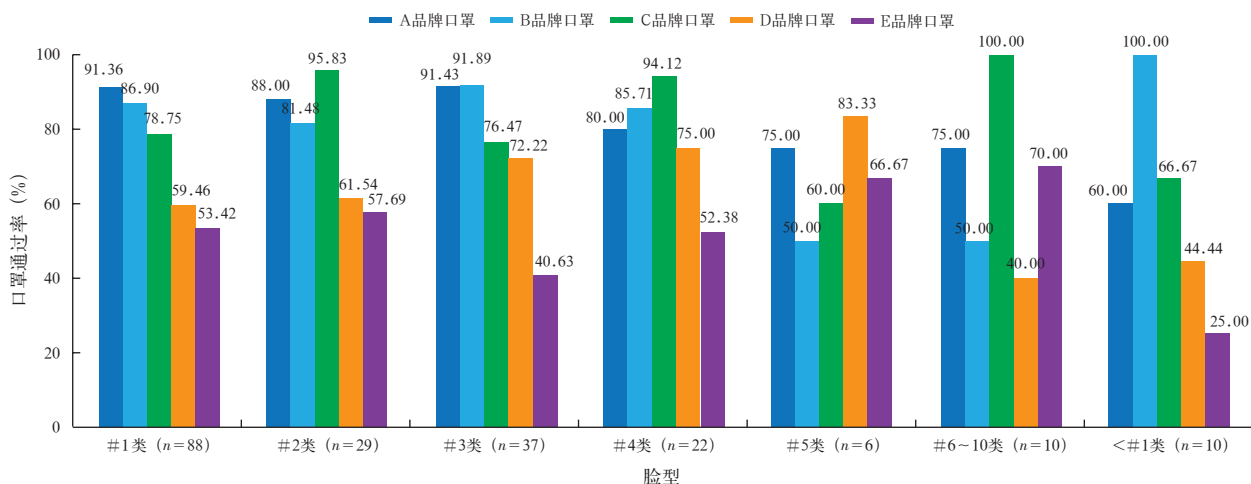


图 2 基于二维摄影测量脸型的口罩适合性检验分析研究对象各种品牌口罩不同脸型通过率比较

### 3 结论

口罩对于预防院内病毒传播至关重要,系统评价和荟萃分析表明,使用口罩可将呼吸道感染风险降低 80%,表明使用口罩可有效防止呼吸道病毒的传播<sup>[5]</sup>。基于院内感染防控体系,相关研究也显示,口罩适合性对于医务人员是非常重要的<sup>[6-7]</sup>。为了使口罩提供呼吸保护,它们必须很好地适合佩戴者,这就需要通过适合性测试来确定,但适合性测试时间相对较长,如果面对 4~5 种口罩时,需快速将适合口罩匹配给佩戴者。因此有必要提出一个有用的工具,为适合性检验提供快速方案。

面部特征包括面部形态的长度和宽度,已被确定为 N95 口罩防护效果的重要因素<sup>[8]</sup>, Zhang 等<sup>[9]</sup> 研究也表明,形态面长与口罩通过率相关,本研究也

显示, B 品牌口罩对于形态面长短的人通过率明显高于面长长的人,因此,对于医疗机构在配置口罩时获取医务人员脸型非常必要。大部分头面产品的设计和适合性测试使用美国洛斯阿拉莫斯国家实验室 (Los Alamos National Laboratory, LANL) 在 1973 年建立的分栏标准<sup>[10]</sup>,但 LANL 分栏采用的是美国空军的头面数据,颜面分栏 (GBZ/T 276-2016) 是基于 2005 至 2007 年对我国的 3 000 名成年人头面尺寸进行的测量<sup>[11]</sup>,本研究显示, #1 类脸型占比最多 (占 43.6%),其次为 #3 类 (占 18.2%),这与余丹等<sup>[12]</sup> 的研究结果不同,本院医务人员多为 #1、#2、#3、#4 类脸型,共 176 例,占 87.1%。这可能与研究对象的性别差异有关。由于职业等因素,医护人员多为女性,因此,本研究中女性研究对象明显多于男性。

本研究共对 202 名研究对象进行 914 次测试,通过次数 678 次,整体口罩通过率为 74.18%。目前颜面分栏多应用于采矿、金属加工等工种人员口罩适合性检验,但相应工种多为男性,尚无在医务人员中的应用,基于本研究结果,可以简要概述医护人员的脸型分区,以便未来在医院的口罩配置中采购相应尺寸匹配的口罩。

在多项既往研究中,面部信息的采集多用人工测量方法,使用卡尺、卷尺和量角器直接对研究对象进行测量<sup>[13-14]</sup>。这种方法的主要优点是非侵入性和低成本。然而,尽管被认为是面部测量的“黄金标准”,但它也有一些缺点,如耗时长,并且取决于参与者的依从性以获得可靠的结果。此外,面部信息的获得取决于研究者,意味着调查人员在测量过程中可能会对设备施加太大的压力,这可能会扭曲软组织并引入测量误差,不适用于大批量的医护选择适配口罩。已有研究通过摄影方法和相关软件测量人体的头面部尺寸<sup>[15]</sup>,同时指出可以考虑人体测量应用于个人面部防护设备的设计。本研究基于二维摄影图片,通过单步密集人脸定位方法计算,人脸检测模型在多尺度人脸图像上进行逐像素的定位,预测得到人脸框和对应 68 个人脸关键点,并通过眼睛、下巴等多个关键点测距完成人脸图形距离测算。该方法可以快速获得研究对象的面部数据,同时匹配相应脸型分组,进而在进行口罩适合性检测时减少无效测试,缩短适合性检验的时间。

本研究表明,头戴式可调节口罩整体通过率明显高于头戴式不可调节口罩。口罩贴合度在很大程度上取决于面部和口罩界面处的密封性,该界面本身多依赖于在佩戴过程中的系带<sup>[16]</sup>, Roberge 等<sup>[17]</sup>研究表明,系带弹性可能会影响口罩的过滤率,但系带弹性的微小变化可能不会影响面部和口罩的贴合性,因为系带长度和头部位置可能会发生变化;顶部系带的向下位移不会明显影响先前通过适合性测试的 N95 口罩的密合性<sup>[17]</sup>。

传染病与其他疾病不同,特别是能通过呼吸道传播的疾病最难防范<sup>[18]</sup>,因此,必须防护到位,对医护人员进行适合性测试成功尤为重要。疫情防控是医院工作的重中之重<sup>[19]</sup>,在大规模疫情期间,合适的口罩快速大量地被生产并有效分配,可有效支持疫情的快速控制和防疫工作的实施。基于本项研究,通过精确脸型分区并匹配相应口罩进行适合性测试,可以减少因口罩不合适导致的更换和浪费,优化

医疗资源配置。未来,我们将使用现代技术进行个性化适合性测试,如三维扫描技术进行面部模型捕获,通过有限元等分析方法模拟口罩在面部模型上的佩戴情况,根据模拟结果匹配最为合适的口罩,以减少适合性测试的时间和成本。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] Nguyen LH, Drew DA, Graham MS, et al. Risk of COVID-19 among front-line health-care workers and the general community: a prospective cohort study [J]. *Lancet Public Health*, 2020, 5 (9): e475-e483. DOI: 10.1016/S2468-2667(20)30164-X.
- [2] 苏健. GB19083-2010《医用防护口罩技术要求》标准解读 [J]. *中国个体防护装备*, 2011 (2): 24-26. DOI: 10.3969/j.issn.1671-0312.2011.02.007.
- [3] 国家卫生健康委员会. GBZ/T 276-2016 自吸过滤式呼吸防护用品适合性检验颜面分栏 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [4] TSI. PortaCount 呼吸器适合性测试仪 OSHA 协议 [EB/OL]. (2019-09-26) [2024-02-28]. <https://tsi.com/modifiedenprotocol/>.
- [5] Liang MM, Gao L, Cheng C, et al. Efficacy of face mask in preventing respiratory virus transmission: a systematic review and meta-analysis [J]. *Travel Med Infect Dis*, 2020, 36: 101751. DOI: 10.1016/j.tmaid.2020.101751.
- [6] 杨万杰, 刘先夺, 王西墨, 等. 新冠病毒感染“乙类甲管”期间定点医院集束化院感防控体系的建设体会 [J]. *中华危重病急救医学*, 2024, 36 (2): 195-201. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20231121-00992.
- [7] 朱永福, 李世霖, 田永灿, 等. 院前转运中基于对输入性新型冠状病毒肺炎快速传播所采取的防控应对措施: 附 362 例发热患者的应对处理 [J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2020, 27 (1): 43-45. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2020.01.012.
- [8] McMahon E, Wada K, Dufresne A. Implementing fit testing for N95 filtering facepiece respirators: practical information from a large cohort of hospital workers [J]. *Am J Infect Control*, 2008, 36 (4): 298-300. DOI: 10.1016/j.ajic.2007.10.014.
- [9] Zhang XY, Jia N, Wang ZX. The relationship between the filtering facepiece respirator fit and the facial anthropometric dimensions among Chinese people [J]. *Ind Health*, 2020, 58 (4): 318-324. DOI: 10.2486/indhealth.2019-0158.
- [10] Hack AL, McConville JT. Respirator protection factors: part I: development of an anthropometric test panel [J]. *Am Ind Hyg Assoc J*, 1978, 39 (12): 970-975. DOI: 10.1080/0002889778507897.
- [11] Yu YY, Jiang LM, Zhuang ZQ, et al. Fitting characteristics of N95 filtering-facepiece respirators used widely in China [J]. *PLoS One*, 2014, 9 (1): e85299. DOI: 10.1371/journal.pone.0085299.
- [12] 余丹, Zhuang ZQ, 程文娟, 等. 中国成年人呼吸防护用品适合性检验新型头面分栏研究 [J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2009, 27 (7): 400-404. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2009.07.005.
- [13] Chen WH, Zhuang ZQ, Benson S, et al. New respirator fit test panels representing the current Chinese civilian workers [J]. *Ann Occup Hyg*, 2009, 53 (3): 297-305. DOI: 10.1093/annhyg/men089.
- [14] 薛佳股, 蔡昕芯, 田亚娟, 等. 医用防护口罩定性适合性检验及其影响因素 [J]. *中华医院感染学杂志*, 2022, 32 (10): 1586-1589. DOI: 10.11816/cn.ni.2022-213519.
- [15] Salvarzi E, Choobineh A, Jahangiri M, et al. Facial anthropometric measurements in Iranian male workers using Digimizer version 4.1.1.0 image analysis software: a pilot study [J]. *Int J Occup Saf Ergon*, 2018, 24 (4): 570-576. DOI: 10.1080/10803548.2018.1433578.
- [16] Roberge R, Niezgoda G, Benson S. Analysis of forces generated by N95 filtering facepiece respirator tethering devices: a pilot study [J]. *J Occup Environ Hyg*, 2012, 9 (8): 517-523. DOI: 10.1080/15459624.2012.695962.
- [17] Roberge RJ, Palmiero AJ, Liu YW, et al. Effect of upper strap downward displacement on N95 filtering facepiece respirator fit factors: a pilot study [J]. *J Occup Environ Hyg*, 2014, 11 (5): 338-341. DOI: 10.1080/15459624.2013.866716.
- [18] 武秀昆. 疫情防控工作的唯物论与辩证法 [J]. *中华危重病急救医学*, 2020, 32 (3): 259-260. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200131-00175.
- [19] 安卫红, 张会芝, 李葆华, 等. 非定点医院收治疑似新型冠状病毒肺炎危重型患者的感控管理策略 [J]. *中华危重病急救医学*, 2020, 32 (6): 760-764. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200603-00474.

(收稿日期: 2024-03-26)

(责任编辑: 邸美仙)