

· 综 述 ·

· 命案攻坚法医学应用技术专题 ·

基于宏观比对面部表观生物特征的个体识别

霍德民^{1,2}, 莫微伟³, 赵飞鸣⁴, 周子皓⁵, 杜猛^{1,2}, 郑吉龙⁶, 马开军⁷

1. 上海市公安局嘉定分局刑事科学技术研究所, 上海 201822; 2. 上海市法医学重点实验室 司法部司法鉴定重点实验室, 上海 200063; 3. 华东理工大学机械与动力工程学院, 上海 201424; 4. 大连海事大学航运经济与管理学院, 辽宁 大连 116026; 5. 北京出入境边防检查总站, 北京 100741; 6. 中国刑事警察学院法庭科学学院, 辽宁 沈阳 110854; 7. 上海市公安局物证鉴定中心, 上海 200083

摘 要: 个体识别是法庭科学实践的研究热点之一, 通常依据具有个体唯一性的生物特征(如指纹、虹膜、DNA等)比对结果进行判别。随着视频图像侦查相关案件数量的剧增, 基于宏观比对面部表观生物特征进行个体识别的技术需求日益增长。目前, 由于计算机3D建模及3D叠加比对技术的引入, 基于宏观比对面部表观生物特征的个体识别方法取得了可观进展。本文综述了基于宏观比对面部表观生物特征进行个体识别的不同方法, 对其优势和局限性进行分析, 并对后续研究提出建议与展望。

关键词: 法医学; 个体识别; 生物特征识别; 宏观对比; 面部特征; 综述

中图分类号: DF795.1 文献标志码: A doi: 10.12116/j.issn.1004-5619.2020.200909

文章编号: 1004-5619(2022)03-0308-06



Individual Identification in Facial Appearance Biometrics Based on Macroscopical Comparison

HUO De-min^{1,2}, MO Wei-wei³, ZHAO Fei-ming⁴, ZHOU Zi-hao⁵, DU Meng^{1,2}, ZHENG Ji-long⁶, MA Kai-jun⁷

1. Institute of Criminal Science and Technology, Jiading Branch of Shanghai Public Security Bureau, Shanghai 201822, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Forensic Medicine, Key Laboratory of Forensic Science, Ministry of Justice, Shanghai 200063, China; 3. School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 201424, China; 4. School of Maritime Economics and Management of Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning Province, China; 5. Beijing Entry-Exit Border Checkpoint, Beijing 100741, China; 6. Academy of Forensic Science, Criminal Investigation Police University of China, Shenyang 110854, China; 7. Institute of Forensic Science, Shanghai Public Security Bureau, Shanghai 200083, China

Abstract: Individual identification is one of the research hotspots in the practice of forensic science, and the judgment is usually built on the comparison of the unique biological characteristics of the individual, such as fingerprints, iris and DNA. With the dramatic increase in the number of cases related to video image investigations, there is an increasing need for the technology to identify individuals based on the macroscopic comparison of facial appearance biometrics. At present, with the introduction of computer three-dimensional (3D) modeling and 3D superimposition comparison technology, considerable progress has been made in individual identification methods based on macroscopic comparison of facial appearance biometrics. This paper reviews individual facial appearance biometric methods based on macroscopical comparison, comprehensively analyzes the advantages and limitations of different methods, and puts forward recommendations and prospects for subsequent research.

Keywords: forensic medicine; individual identification; biometric recognition; macroscopical comparison; facial characteristics; review

基金项目: 公安部技术研究计划资助项目(2016JSYJC56); 上海市法医学重点实验室、司法部司法鉴定重点实验室开放基金资助项目(KF202210)

作者简介: 霍德民(1994—), 男, 硕士, 主检法医师, 主要从事法医人类学与法医牙科学研究; E-mail: demin_huo@163.com

通信作者: 马开军, 男, 主任法医师, 主要从事法医病理学与法医人类学研究; E-mail: makaijun@sina.cn

引用格式: 霍德民, 莫微伟, 赵飞鸣, 等. 基于宏观比对面部表观生物特征的个体识别[J]. 法医学杂志, 2022, 38(3): 308-313.

To cite: HUO D M, MO W W, ZHAO F M, et al. Individual identification in facial appearance biometrics based on macroscopical comparison[J]. Fayixue Zazhi, 2022, 38(3): 308-313.

随着视频图像侦查技术在案件中的应用日益增多,基于面部表观生物特征的个体识别方法正逐步成为法医人类学的研究前沿^[1-2]。近年来,随着计算机3D建模、3D叠加比对等技术的引入,基于宏观比对面部表观生物特征的个体识别方法取得了长足进展。目前,基于面部表观生物特征的个体识别方法包括面部形态特征比对、面部人体测量比对、3D人脸模型叠加比对及面貌衰老预测等。本文旨在总结法医人类学研究中基于宏观比对面部表观生物特征的个体识别方法,以为法医工作者提供参考。

1 面部形态特征比对

面部形态特征比对是根据预先建立的标准面部形态特征分类图集比较待检人员间面部特征是否相符,亦被称为简单视觉识别^[3-5]。19世纪末,BERTILLON等^[6]开发了一种简易的面部形态特征描述和度量系统,详细介绍了眼、鼻、唇、耳等外形分类及双侧颧骨间宽、耳长等距离测量方法。欧盟开发的DMV(düsseldorf milan vilnius)^[7]法医人类学面部形态特征分类图集(以下简称DMV图集)包括43种面部形态特征的描述、绘图、摄影示例及相应人口频率,是迄今为止最详细的分类图集之一。

然而受主观因素影响,即使借助已建立的标准分类方案,不同的观察者对同一个体的面部形态特征分类存在一定误差^[8-11]。RITZ-TIMME等^[7]分析了应用DMV图集分类面部形态特征的错误率,发现借助图集时的分类错误率(29%)低于非借助图集条件(37%),上眼睑褶皱、鼻轮廓、鼻小柱倾斜度及耳突度等特征分类错误率较低(2%~8%),眉形、鼻突度、鼻翼长及耳宽度等特征分类错误率较高(53%~68%)。有研究^[12-13]表明,面部胎记、色素痣及瘢痕等特征具有个体唯一性,有可能成为有用的身份认定指标。

一般经简单视觉识别后,需结合人体测量等量化手段才能作出识别结论。但面部形态特征标准分类方案在群体性灾害中可用于初步快速筛查身份信息^[14-15]。国际刑事警察组织曾根据贝迪永人体测量法制作灾难受害者身份识别表格,包括了不同类型的额、耳、鼻及面型等示例图^[7]。制作多民族的法医人类学面部形态特征分类图集,对快速筛查失踪人口及无名尸体身份信息有积极指导意义。

2 面部人体测量比对

面部人体测量学即通过对面部整体与局部测量来探讨面部特征的类型、变异和发展。法医人类学面部形态特征分类图集中某些特征的种类是依据测量

数值来划分的^[16]。目前相关研究方法^[17-18]主要基于图像处理软件测量面部特征标志点间距离或角度,故又被称为图像人体测量法。图像人体测量法的身份认定一般根据平方欧氏距离值(即图像中相同指标测量值的平方差之和)来判断^[19-20],该值越接近0,则同一性的概率越大。

MORETON等^[21]发现,面部表情及拍摄角度会显著影响标志点间距离测量结果。KLEINBERG等^[18]发现,鼻根点、双侧外眼角点及口裂点间连线夹角的个体内差异大于个体间差异。关于距离指标间的比值,即比例指标(proportionality index,PI),HALBERSTEIN等^[22]应用多项PI结合身高及步态等特征成功识别3例个体,但这并不能佐证PI的独立适用性。此外,PI与标志点间距离一样也会随着拍摄角度的较大调整而发生变化^[21]。因此,图像人体测量法的可靠性受到较多质疑^[18,21]。

面部图像的同一性推断一般要求2张图像的拍摄角度、拍摄距离几乎完全相同^[23],这在监控视频图像中通常难以达到。同时,面部人体测量指标的人口频率尚未确定,即使多项指标匹配,也无法得出2张图像来自同一个体的具体概率。尽管存在上述限制,随着对面部人体测量大数据的深入挖掘和应用,该方法在年龄推断、种族鉴别及个体识别方面的应用价值不可忽视。

3 3D人脸模型叠加比对

由于用于叠加比对的人脸数据格式不同,3D人脸模型叠加比对可分为2D人脸图像与3D人脸模型叠加比对(简称2D-3D人脸叠加比对)、3D人脸模型与3D人脸模型叠加比对(简称3D-3D人脸叠加比对)2类。

3.1 2D-3D人脸叠加比对

2D-3D人脸叠加比对方法是指采用3D激光扫描仪或3D立体摄影测量系统获取目标人物3D人脸模型,结合专业3D图像处理软件,根据预设的人体测量标志点精确调整3D人脸模型以匹配2D人脸图像的方位和大小,使3D模型叠加至2D图像上进行比对分析^[24-26]。有学者^[27]直接叠加2张2D人脸图像,即2D-2D人脸叠加比对。与图像人体测量法类似,因受图像中人脸的方位和大小差异影响较大,面部标志点的选取差异可能会导致2D-2D比对结果明显不同^[27]。而2D-3D人脸叠加比对则可以大大减小目标图像中人物的头面部方位差异^[28-29]。2D-3D人脸叠加比对的身份认定一般根据2张图像中同一标志点间距离的平均值或均方根值(root mean square,RMS)^[30-33]进

行判断。

有研究^[30-33]表明,2D-3D人脸图像中同一标志点间距离或面积测量值的个体内与个体间差异显著,具有较好的区分度(表1)。YOSHINO等^[30]分别在戴有眼镜、口罩或帽子的条件下比较了日本男性2D-3D人脸图像中同一标志点间距离的差异,得到了相似结

果。有研究^[33]采用该方法在单卵双胞胎间进行了类似比较,发现个体内差异要小于胞胎内差异。目前主流观点^[30-33]认为,2D-3D人脸叠加比对可以高精度地用于身份辨别。随着越来越多的3D人脸模型数据库^[34-35]的建立与使用,有望计算出身份认定的具体概率。

表1 基于3D人脸模型叠加比对的个体识别研究结果比较

Tab. 1 Comparison of individual recognition research results based on 3D face model superimposition

方法	对象	面部特征标志点	对应点-点间距离或面积测量值		参考文献
			个体内差异	个体间差异	
2D-3D人脸 叠加比对	100例 日本男性	眉外侧点、双侧眼内角点、双侧 眼外角点、双侧鼻翼点、鼻下 点、双侧口角点、口裂点、额下 点、耳上点、耳下点	2.3~2.8 mm	4.0~14.6 mm	[30]
	13例 高加索 男性	双侧眼内角点、双侧眼外角点、 鼻根点、鼻尖点、鼻下点、人中 点、双侧口角点、口裂点、额下点	1.8~3.0 mm(前视图); 1.7~2.5 mm(左前斜视图)	2.9~6.8 mm(前视图); 3.0~7.1 mm(左前斜视图)	[31]
	50例 高加索 男性	眉间点、鼻根点、鼻尖点、双侧 鼻翼点、鼻下点、人中点、上下 唇中点、额唇沟点、额前点(及 各点连线间面积)	0.7~1.9 mm; 43~133 mm ²	>1.77 mm;>157 mm ²	[32]
	9对 日本单卵 双胞胎	双侧眼内角点、双侧眼外角点、 双侧鼻翼点、鼻下点、人中点、 双侧口角点、口裂点、双侧下颌 角点、额下点	(1.1±0.2) mm	(2.0±0.3) mm(胞胎内)	[33]
	20例 欧洲男性	整体3D人脸点云	(2.10±0.90) mm (RMS值)	(4.47±1.55) mm(RMS值)	[36]
3D-3D人脸 叠加比对	10对 欧洲单卵 双胞胎	整体3D人脸点云	(1.00±0.30) mm (RMS值)	(1.90±0.50) mm(胞胎内RMS值); (3.40±0.70) mm(个体间RMS值)	[37]
	50例 欧洲男性	整体3D人脸点云	0.17~1.38 mm (RMS值)	1.74~4.28 mm(RMS值)	[38]

注:RMS表示均方根(root mean square)。

3.2 3D-3D人脸叠加比对

近年来,随着高清3D视频监控系统的开发与应用,使得预先获取嫌疑人3D人脸模型成为可能,即满足了开展3D-3D人脸叠加比对的现实条件。3D-3D人脸叠加比对通常包括3D配准与3D比较两个步骤^[36-38]。3D配准是指将2个3D模型叠加在一起的方式,一般通过迭代最近点算法(iterative closest point, ICP)来实现^[39]。ICP是一种点云匹配算法,通过在2个3D点云间重复进行对应点-点的选择,迭代计算最优刚体变换,直到满足正确配准的收敛精度要求为止^[39]。3D比较即在3D配准的基础上,获取2个3D模型间对应点-点距离的测量结果^[36-38]。3D-3D人脸叠加比对的身份认定一般依据2个3D人脸模型间整体对应点-点距离的RMS值作出判断^[36-38]。

2016年,GIBELLI等^[36]在无关个体间进行了3D-3D人脸叠加比对分析,发现个体内的RMS值明显低

于个体间的RMS值(表1)。有研究^[37]显示,3D-3D人脸叠加比对方法可用于区分双胞胎身份。2021年,GIBELLI等^[38]提出在进行3D配准前,预先去除头发、耳朵及颈部等区域,以降低这些区域对3D配准的噪声干扰,提高3D配准速度与精度。3D-3D比对为分析面部运动的3D变化提供了新的可能性,但现有研究^[36-38]仅在静态(无面部表情)人脸条件下进行了3D-3D人脸叠加比对分析。关于面部表情变化对3D-3D人脸叠加比对的影响以及实践中通过3D视频监控系统建立3D人脸模型会出现的技术限制(如视频监控中图像的质量及拍摄角度对3D人脸建模的影响)仍有待进一步研究。

关于尸体面部三维成像方法,由于尸体不便于保持站立或坐立姿势,瑞士苏黎世大学法医研究所研发出一种称为“VirtoScan-on-Rails”的三维尸体检验成像系统,该系统由一个能适应解剖台构造的可移动多

摄像机阵列框架构成,可在3 min内快速捕获多视角尸体照片,结合配套图像处理软件可实现尸体全貌或局部三维成像^[40]。这或许为尸体与活体间的3D人脸叠加比对提供了可能。

4 面貌衰老预测

面貌衰老预测是通过法医素描或计算机面貌衰老轨迹建模等手段提供个体在已知最后一次出现之前或之后一段时间的面部图像供个体识别使用,也有学者称之为年龄增长与衰退方法^[41-42],该类方法在寻找与辨认失踪人员以及个体身份受到质疑而官方系统没有其近期照片记录等情况下具有较为特殊的应用价值。

法医素描专家根据目标人物的照片及其家属的面貌特征,通过手绘或图像编辑软件制作面部模拟图像^[43]。儿童面貌衰老预测主要参考其发育过程,通常需要其父母及兄弟姐妹提供与该儿童当下年龄相同时期的面部照片为参考。对小于3岁的婴幼儿进行面貌衰老预测相对困难^[43]。耳朵与胎记的外形特征随年龄增长变化不甚明显^[12-13],牙齿的萌发呈一定年龄规律性,在儿童阶段均具参考意义。对于成年人的面貌衰老预测,皮肤衰老迹象的参考价值远高于发育过程,如皮肤皱纹是与年龄增长相关的精细面部细节特征,是法医素描需参考的重要特征^[44]。

因法医素描方法具有一定主观性,后来衍生出计算机面貌衰老轨迹建模方法。WINDHAGER等^[42]以克罗地亚人的面貌3D扫描图像构建了面貌衰老的性别特定轨迹模型,发现约50岁之前男、女性面部特征变化程度相似,之后女性衰老轨迹增速显著。SCHMIDLIN等^[45]以南非男性黑人的2D面部图像数据构建了衰老评分系统,发现多数特征呈年龄相关的单向衰变过程(如出现皱纹、眼眶下垂、耳垂延长及嘴唇变薄等),但某些特征并未随年龄增长而出现明显变化(如耳宽、嘴宽、鼻长及鼻尖型等)。MATTHEWS等^[46]基于3D面貌图像进行年龄推断,发现年龄推断的平均误差在1.19岁以内,研究还发现衰老预测图像与实际图像间85%的标志点间距离测量值的平均误差在3 mm以内。

面貌衰老轨迹建模法能够提供年龄平均化、性别相关或更具个性化生长轨迹的面貌衰老模型,在法医学人类学个体识别及颅面重建中均具有一定应用价值。需注意的是,除年龄与性别外,还需考虑人种、肤色及体重指数等可能影响面部特征的因素。研究^[45]表明,黑人与白人的面貌衰老轨迹有差异,而我国不同民族的面貌衰老轨迹仍有待进一步研究。

基于宏观比对面部表观生物特征的个体识别方法已成为视频图像侦查的重要辅助手段。未来研究应注重确立基于宏观比对面部表观生物特征个体识别的可靠量化指标及识别认定标准。此外,建立标准化的面部形态特征分类图集、3D人脸公共数据库及基于面部表观特征个体识别的鉴定规范等,均值得深入探究。

参考文献:

- [1] UZÜN I, DAREGENLI O, SIRIN G, et al. Identification procedures as a part of death investigation in Turkey[J]. *Am J Forensic Med Pathol*, 2012, 33(1):1-3. doi:10.1097/PAF.0b013e3182243cae.
- [2] ROSSY Q, IOSET S, DESSIMOZ D, et al. Integrating forensic information in a crime intelligence database[J]. *Forensic Sci Int*, 2013, 230(1/2/3):137-146. doi:10.1016/j.forsciint.2012.10.010.
- [3] CAPLOVA Z, OBERTOVA Z, GIBELLI D M, et al. Personal identification of deceased persons: An overview of the current methods based on physical appearance[J]. *J Forensic Sci*, 2018, 63(3):662-671. doi:10.1111/1556-4029.13643.
- [4] TAMIR A. Numerical survey of the different shapes of the human nose[J]. *J Craniofacial Surg*, 2011, 22(3):1104-1107. doi:10.1097/SCS.0b013e3182108eb3.
- [5] VANEZIS P, LU D, COCKBURN J, et al. Morphological classification of facial features in adult Caucasian males based on an assessment of photographs of 50 subjects[J]. *J Forensic Sci*, 1996, 41(5):786-791.
- [6] BERTILLON A, MCCLAUGHRY R W. Signaletic instructions including the theory and practice of anthropometrical identification[M]. Chicago: Werner Company, 1896.
- [7] RITZ-TIMME S, GABRIEL P, OBERTOVA Z, et al. A new atlas for the evaluation of facial features: Advantages, limits, and applicability[J]. *Int J Leg Med*, 2011, 125(2):301-306. doi:10.1007/s00414-010-0446-4.
- [8] HOULTON T M R, STEYN M. Finding Makhubu: A morphological forensic facial comparison[J]. *Forensic Sci Int*, 2018, 285:13-20. doi:10.1016/j.forsciint.2018.01.022.
- [9] CAPLOVA Z, COMPASSI V, GIANCOLA S, et al. Recognition of children on age-different images: Facial morphology and age-stable features[J]. *Sci Justice*, 2017, 57(4):250-256. doi:10.1016/j.scijus.2017.03.005.
- [10] URBANOVÁ P. Performance of distance-based matching algorithms in 3D facial identification[J]. *Egypt J Forensic Sci*, 2016, 6(2):135-151. doi:10.1016/j.ejfs.2016.04.004.

- [11] LUCAS T, KUMARATILAKE J, HENNEBERG M. Metric identification of the same people from images: How reliable is it?[J]. *J Anthropol*, 2016, 2016:1-10. doi:10.1155/2016/1760313.
- [12] NURHUDATIANA A, KONG A W K, CRAFT N, et al. Relatively permanent pigmented or vascular skin marks for identification: A pilot reliability study[J]. *J Forensic Sci*, 2016, 61 (1) : 52-58. doi: 10.1111/1556-4029.12872.
- [13] KULSHRESHTHA M, MONDAL P R. Acquired body marks: A mode of identification in forensics[J]. *J Forensic Leg Med*, 2017, 52: 98-109. doi: 10.1016/j.jflm.2017.08.012.
- [14] CHAIKUNRAT J, PONGPANITANON P, PETJU M. Victim identification in the tsunami disaster in Thailand[J]. *J Heal Sci*, 2011, 20: 897-902.
- [15] SOOMER H, RANTA H, PENTTILÄ A. Identification of victims from the M/S Estonia[J]. *Int J Leg Med*, 2001, 114 (4/5) : 259-262. doi: 10.1007/s004140000180.
- [16] 王宁, 苗春雨, 吕金星. 正面照片面部特征指标用于个人识别的选择及评价[J]. *中国法医学杂志*, 2016, 31(6): 570-573. doi: 10.13618/j.issn.1001-5728.2016.06.009.
WANG N, MIAO C Y, LÜ J X. Selection and evaluation of facial characteristic indexes of frontal photo for personal identification[J]. *Zhongguo Fayixue Zazhi*, 2016, 31(6): 570-573.
- [17] TOME P, FIERREZ J, VERA-RODRIGUEZ R, et al. Identification using face regions: Application and assessment in forensic scenarios[J]. *Forensic Sci Int*, 2013, 233 (1/2/3) : 75-83. doi: 10.1016/j.forsciint.2013.08.020.
- [18] KLEINBERG K F, VANEZIS P, BURTON A M. Failure of anthropometry as a facial identification technique using high-quality photographs[J]. *J Forensic Sci*, 2007, 52(4) : 779-783. doi: 10.1111/j.1556-4029.2007.00458.x.
- [19] DAVIS J P, VALENTINE T, DAVIS R E. Computer assisted photo-anthropometric analyses of full-face and profile facial images[J]. *Forensic Sci Int*, 2010, 200 (1/2/3) : 165-176. doi: 10.1016/j.forsciint.2010.04.012.
- [20] JAYAPRAKASH P T. Conceptual transitions in methods of skull-photo superimposition that impact the reliability of identification: A review[J]. *Forensic Sci Int*, 2015, 246: 110-121. doi: 10.1016/j.forsciint.2014.10.043.
- [21] MORETON R, MORLEY J. Investigation into the use of photoanthropometry in facial image comparison[J]. *Forensic Sci Int*, 2011, 212 (1/2/3) : 231-237. doi: 10.1016/j.forsciint.2011.06.023.
- [22] HALBERSTEIN R A. The application of anthropometric indices in forensic photography: Three case studies[J]. *J Forensic Sci*, 2001, 46(6): 1438-1441.
- [23] GIBELLI D, OBERTOVÁ Z, RITZ-TIMME S, et al. The identification of living persons on images: A literature review[J]. *Leg Med*, 2016, 19: 52-60. doi: 10.1016/j.legalmed.2016.02.001.
- [24] KIM S H, SHIN H S. Three-dimensional analysis of the correlation between soft tissue and bone of the lower face using three-dimensional facial laser scan[J]. *J Craniofacial Surg*, 2018, 29 (8) : 2048-2054. doi: 10.1097/SCS.00000000000004781.
- [25] CEINOS R, TARDIVO D, BERTRAND M F, et al. Inter- and intra-operator reliability of facial and dental measurements using 3D-stereophotogrammetry[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2016, 28 (3) : 178-189. doi: 10.1111/jerd.12194.
- [26] KOTTNER S, EBERT L C, AMPANOZI G, et al. Virto-Scan -- A mobile, low-cost photogrammetry setup for fast post-mortem 3D full-body documentations in X-ray computed tomography and autopsy suites[J]. *Forensic Sci Med Pathol*, 2017, 13 (1) : 34-43. doi: 10.1007/s12024-016-9837-2.
- [27] CUMMAUDO M, GUERZONI M, MARASCIUOLO L, et al. Pitfalls at the root of facial assessment on photographs: A quantitative study of accuracy in positioning facial landmarks[J]. *Int J Leg Med*, 2013, 127(3) : 699-706. doi: 10.1007/s00414-013-0850-7.
- [28] YOSHINO M, TANIGUCHI M, IMAIZUMI K, et al. A new retrieval system for a database of 3D facial images[J]. *Forensic Sci Int*, 2005, 148 (2/3) : 113-120. doi: 10.1016/j.forsciint.2004.04.074.
- [29] YOSHINO M, MATSUDA H, KUBOTA S, et al. Computer-assisted facial image identification system using a 3-D physiognomic range finder[J]. *Forensic Sci Int*, 2000, 109 (3) : 225-237. doi: 10.1016/S0379-0738(00)00149-3.
- [30] YOSHINO M, NOGUCHI K, ATSUCHI M, et al. Individual identification of disguised faces by morphometrical matching[J]. *Forensic Sci Int*, 2002, 127(1/2) : 97-103. doi: 10.1016/S0379-0738(02)00115-9.
- [31] FRASER N L, YOSHINO M, IMAIZUMI K, et al. A Japanese computer-assisted facial identification system successfully identifies non-Japanese faces[J]. *Forensic Sci Int*, 2003, 135 (2) : 122-128. doi: 10.1016/S0379-0738(03)00182-8.
- [32] CATTANEO C, CANTATORE A, CIAFFI R, et al. Personal identification by the comparison of facial profiles: Testing the reliability of a high-resolution 3D-2D comparison model[J]. *J Forensic Sci*, 2012, 57 (1) : 182-187. doi: 10.1111/j.1556-4029.

- 2011.01944.x.
- [33] ATSUCHI M, TSUJI A, USUMOTO Y, et al. Assessment of some problematic factors in facial image identification using a 2D/3D superimposition technique[J]. *Leg Med*, 2013, 15 (5) : 244-248. doi: 10.1016/j.legalmed.2013.06.002.
- [34] URBANOVÁ P, FERKOVÁ Z, JANDOVÁ M, et al. Introducing the FIDENTIS 3D face database[J]. *Anthropol Rev*, 2018, 81 (2) : 202-223. doi: 10.2478/anre-2018-0016.
- [35] MARTOS R, VALSECCHI A, IBÁÑEZ O, et al. Estimation of 2D to 3D dimensions and proportionality indices for facial examination[J]. *Forensic Sci Int*, 2018, 287:142-152. doi:10.1016/j.forsciint.2018.03.037.
- [36] GIBELLI D, DE ANGELIS D, POPPA P, et al. A view to the future: A novel approach for 3D-3D superimposition and quantification of differences for identification from next-generation video surveillance systems[J]. *J Forensic Sci*, 2017, 62 (2) : 457-461. doi:10.1111/1556-4029.13290.
- [37] GIBELLI D, PUCCIARELLI V, POPPA P, et al. 3D-3D facial superimposition between monozygotic twins: A novel morphological approach to the assessment of differences due to environmental factors[J]. *Leg Med*, 2018, 31:33-37. doi:10.1016/j.legalmed.2017.12.011.
- [38] GIBELLI D, PALAMENGHI A, POPPA P, et al. Improving 3D-3D facial registration methods: Potential role of three-dimensional models in personal identification of the living[J]. *Int J Legal Med*, 2021, 135(6) : 2501-2507. doi:10.1007/s00414-021-02655-3.
- [39] MOU Q N, JI L L, LIU Y, et al. Three-dimensional superimposition of digital models for individual identification[J]. *Forensic Sci Int*, 2021, 318:110597. doi:10.1016/j.forsciint.2020.110597.
- [40] KOTTNER S, SCHAERLI S, FÜRST M, et al. VirtoScan-on-Rails - an automated 3D imaging system for fast post-mortem whole-body surface documentation at autopsy tables[J]. *Forensic Sci Med Pathol*, 2019, 15 (2) : 198-212. doi: 10.1007/s12024-019-00095-5.
- [41] UBELAKER D H, WU Y H, CORDERO Q R. Craniofacial photographic superimposition: New developments[J]. *Forensic Sci Int Synergy*, 2019, 1: 271-274. doi:10.1016/j.fsisyn.2019.10.002.
- [42] WINDHAGER S, MITTEROECKER P, RUPIC I, et al. Facial aging trajectories: A common shape pattern in male and female faces is disrupted after menopause[J]. *Am J Phys Anthropol*, 2019, 169(4) : 678-688. doi:10.1002/ajpa.23878.
- [43] JOE M. Age progression and regression[M]//WILKINSON C, RYNN C. Craniofacial identification. Cambridge: Cambridge University Press, 2012: 68-75. doi:10.1017/cbo9781139049566.006.
- [44] GIBSON S J, SCANDRETT C M, SOLOMON C J, et al. Computer assisted age progression[J]. *Forensic Sci Med Pathol*, 2009, 5 (3) : 174-81. doi: 10.1007/s12024-009-9102-z.
- [45] SCHMIDLIN E J, STEYN M, HOULTON T M R, et al. Facial ageing in South African adult males[J]. *Forensic Sci Int*, 2018, 289: 277-286. doi: 10.1016/j.forsciint.2018.05.006.
- [46] MATTHEWS H, PENINGTON A, CLEMENT J, et al. Estimating age and synthesising growth in children and adolescents using 3D facial prototypes[J]. *Forensic Sci Int*, 2018, 286: 61-69. doi: 10.1016/j.forsciint.2018.02.024.

(收稿日期:2020-09-17)

(本文编辑:王亚辉)