

手烧伤后水肿评估方法研究进展

张婷婷¹, 刘灿滨², 陈舜³, 陈昭宏^{4*}

¹福建医科大学附属协和医院, 烧伤与创面修复科, 福建 福州

²福建医科大学附属协和医院, 福建省烧伤研究所, 福建 福州

³福建医科大学附属协和医院, 福建省烧伤医学中心, 福建 福州

⁴福建医科大学附属协和医院, 福建省烧创伤重点实验室, 福建 福州

收稿日期: 2026年2月18日; 录用日期: 2026年3月11日; 发布日期: 2026年3月19日

摘要

手是烧伤最常见的身体部位, 而水肿是手烧伤后早期最常出现的并发症之一, 可导致疼痛、运动功能减退、关节僵硬、感觉异常等问题, 甚至导致永久性残疾。及时有效地减轻水肿程度对于促进手功能恢复具有重要意义, 而准确评估水肿程度则是评价康复治疗方案有效性的关键环节。然而, 受限于手部复杂的解剖结构, 水肿的可视化评估与定量分析仍是当前临床面临的重大挑战。本文系统综述了手烧伤后水肿评估的现有方法, 以期为未来手烧伤后水肿的管理策略制定和治疗方法研究提供理论依据。

关键词

手, 烧伤, 水肿, 评估

Research Progress on Assessment Methods for Edema after Hand Burns

Tingting Zhang¹, Canbin Liu², Shun Chen³, Zhaohong Chen^{4*}

¹Burn & Wound Repair Department, Fujian Medical University Union Hospital, Fuzhou Fujian

²Fujian Burn Institute, Fujian Medical University Union Hospital, Fuzhou Fujian

³Fujian Burn Medical Center, Fujian Medical University Union Hospital, Fuzhou Fujian

⁴Fujian Provincial Key Laboratory of Burn and Trauma, Fujian Medical University Union Hospital, Fuzhou Fujian

Received: February 18, 2026; accepted: March 11, 2026; published: March 19, 2026

Abstract

Hands are the most common body part burned, and edema is one of the most common early

*通讯作者。

complications after hand burns, which can lead to pain, reduced motor function, joint stiffness, abnormal sensation and other problems, and even permanent disability. In order to reduce the degree of edema as soon as possible and promote the recovery of hand function, accurate assessment of the degree of edema is crucial to evaluate the effectiveness of rehabilitation treatment plans. However, visualization and quantification of edema remains one of the clinical challenges due to the peculiarities of hand anatomy. This review aims to summarize the existing methods for the assessment of edema after hand burns and provide a theoretical basis for future research on the management and treatment of hand burn edema.

Keywords

Hand, Burn, Edema, Assessment

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 介绍

烧伤是主要由热或辐射、放射性、电、摩擦、接触化学品等引起的皮肤或其他有机组织的损伤。根据世界卫生组织估计,全球每年有超过 26.5 万人死于与火灾有关的烧伤,其中 90%的病例发生在中低收入国家[1]。尽管手的面积占身体总体表面积的 5%,但其烧伤发生率却高达 80%,成为烧伤最常见的部位[2]。虽然手部烧伤通常不直接导致高死亡率,但其引发的非致命性后遗症往往严重影响患者的生活质量,甚至可能导致永久性功能障碍。与身体其他部位相比,手的解剖结构和运动功能更加精细和复杂,可以完成许多粗大和精细动作,对于完成日常生活活动必不可少[3]。手烧伤后,患者无法完成基础性日常生活活动,比如进食、穿衣、洗澡等,和工具性日常生活活动,比如社区活动、交流等,影响回归家庭和重新融入社会[4]。手烧伤在国际上被视为一种严重损伤,英国和美国烧伤协会提倡,除极轻微的手部烧伤外,所有手部烧伤患者均应在专业烧伤中心接受治疗。手烧伤引起的一些常见并发症包括水肿、瘢痕挛缩、关节畸形、感觉障碍、皮肤稳定性丧失和手部功能受限等,其中水肿是烧伤早期最常见的并发症[5]。

手烧伤后由于体内化学物质如氧自由基、组胺、前列腺素等大量释放,导致毛细血管通透性增加,间质液失衡,细胞外液在间隙积聚形成水肿。间质内形成的水肿在烧伤后前 8 小时内迅速形成,并在此后 18 小时内逐步达到高峰[6]。随着间质空间内的静水压力增加,不仅影响组织功能和电稳定性,还可因微血管闭塞加剧组织坏死程度。当烧伤达深 II 度或 III 度时,创面组织凝固坏死,形成无弹性焦痂,限制局部水肿向外扩展,从而产生压迫作用。虽然伤口周围血管外空间的水肿液限制了有毒代谢物的流动,但同时也限制了循环和受损组织之间重要营养物质(如氧气)的交换,进一步损害脆弱组织,甚至导致骨筋膜室综合征。手烧伤后由于皮肤组织间隙内高蛋白增多,逐渐累积形成胶原纤维,导致重要的弹力组织,如腱鞘、筋膜、手内肌肉及坚硬的关节囊皆被纤维组织所限制,从而发生关节强直和功能障碍。当患手出现肿胀后,皮肤紧绷感、束缚感明显,加上水肿后疼痛的影响,活动能力下降,进而降低肌泵作用,使水肿更加难以消退。随着关节制动时间进一步延长,关节僵硬程度加重,形成恶性循环,阻碍康复进程[7]。

因此,为尽快减轻烧伤后手水肿程度,准确评估水肿程度对于制定康复治疗计划及评估治疗的有效性至关重要。我们将回顾和分析主观和客观检查方法的优缺点,并探讨各种方法在临床实践中的应用。通过深入了解这些评估方法的特点和局限性,我们可以为手烧伤患者提供更准确、个性化的水肿管理和康复治疗方案,以提高患者的功能恢复效果和生活质量。

2. 手烧伤后水肿评估方法研究进展

手的形状不规则且复杂,准确测量烧伤后手的大小和体积变化难度较大。手烧伤后水肿测量主要包括主观和客观检查,主观检查涵盖了水肿症状的评价和相关体征的观察,客观检查方法包括非侵入和侵入性方法。

2.1. 手烧伤水肿的主观检查与评定

详细询问病史包括烧伤发生的原因、时间、处理方法、水肿发生时间、水肿进展过程,有无伴随麻木、疼痛等症状,以及患者年龄、基础病等。由于手烧伤病史及创面明确,主观判断水肿并无难度,但对于水肿程度细微变化的判断较为困难。而且,水肿的视觉评估会延迟几个小时,因为液体积聚只有在组织体积翻倍后才能在视觉上显现出来。

2.1.1. 水肿症状

烧伤后水肿常伴有疼痛,随着水肿继续进展,患手皮肤感觉异常、运动功能下降等症状都可能会出现。具体表现为:患手屈曲、伸直活动度下降,握力、捏力下降,相关精细动作欠佳,皮肤感觉麻木、迟钝等。

2.1.2. 水肿体征

患手皮肤褶皱消失,用拇指和食指捏起被试的手指或手背皮肤,表现为难以捏起皮肤,提示水肿存在。

2.2. 手烧伤水肿的客观检查

客观的水肿检查可以提供最直接的评定数值,对于明确水肿严重程度及治疗的有效性更为直观。水肿的客观检查可分为两大类:(1)非侵入性方法:①围度或体积测量法:测量手的围度、体积,由于方法简便及工具容易获取,该方法在临床上应用最为广泛。②水肿液体成分分析法:通过分析水肿的体液成分,间接评价肿胀程度的生物电阻抗谱(Bioimpedance Spectroscopy, BIS)、反射太赫兹(Reflective Terahertz, THz)成像。③影像类辅助检查:包括近红外荧光成像(Near-Infrared Fluorescence, NIRF)、光学相干断层扫描技术(Optical Coherence Tomography, OCT)、双能 X 线等。(2)侵入性方法:①注射标记水扫描,②组织活检,③同位素技术。

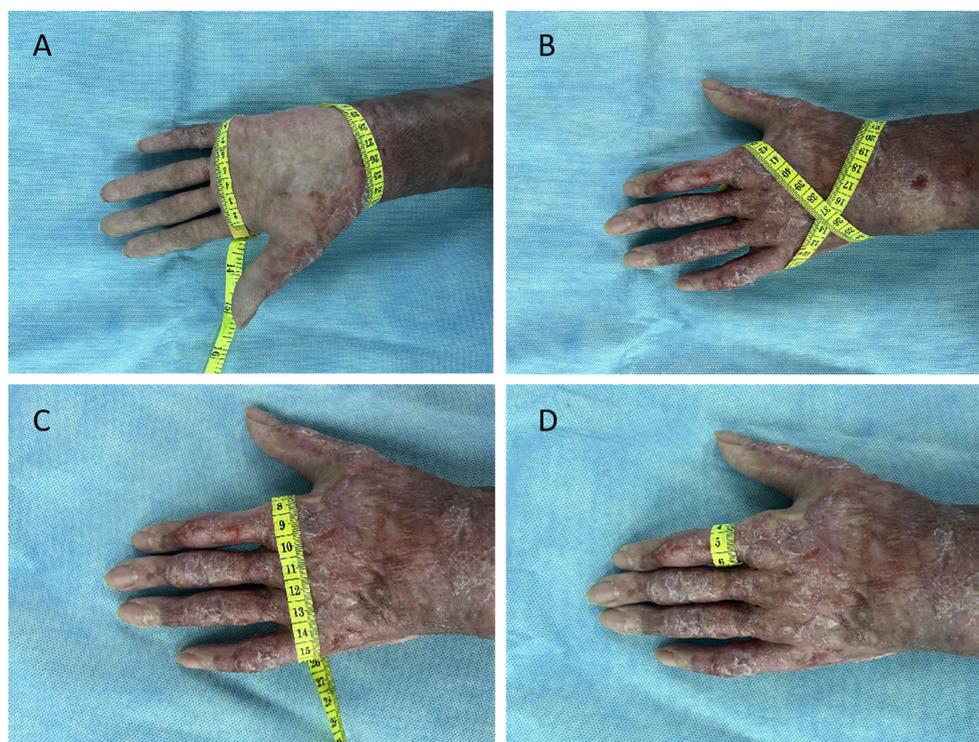
2.2.1. 围度或体积测量法

围度和体积测量法是目前最为广泛接受使用的肿胀监测方法,但容易出现主观偏差,缺乏敏感性,并且只能在除去敷料时测量,同时增加创面感染风险、增加疼痛等问题。

(1)8 字法测量手部尺寸(见图 1(A)和图 1(B)):测量方法为:①卷尺的起点位于尺骨茎突最远端的最外侧。②将卷尺从手腕的腹面拉到桡骨茎突的最远端。③卷尺斜放在手的背侧,卷尺的近端放在第五掌指关节线上。④然后将卷尺穿过掌指关节的腹面和位于第二条掌指关节线上的卷尺的近端表面。⑤卷尺斜穿过手背回到起点。Catalina 等人证实 8 字法测量结果与水置换体积法测量的手部体积结果具有中等到高度相关性($r = 0.70\sim 0.96$) [8] [9]。虽然水容量法被认为是评估手部水肿的金标准 [10],但他们认为 8 字法比水容量法在临床上更为可行。

(2)掌骨头部手围测量(见图 1(C)):使用卷尺来量化掌骨头水平处周长的大小,将卷尺从手掌引导至背部,与第二和第五掌指关节对齐。掌骨头处的手周长测量与使用 8 字法测量结果具有高度相关性($r = 0.84\sim 0.90$) [11]。

(3)手指周长测量(见图 1(D)):使用卷尺量化近节指骨处的周长。研究证实,使用手指周长测量与水置换体积法测量的手部体积结果具有高度到极高度相关性($r = 0.81\sim 0.99$) [12] [13]。



(A) 手腹面; (B) 手背面; (C) 掌骨头部手围测量法; (D) 手指周长测量法。

Figure 1. Figure-of-eight method

图 1. 八字法

(4) 水置换体积法: 也称为水容量法、排水法, 指测量当手浸入装满水的容器中时排出的水的数量或体积[14]。用 2000ml 规格大量筒装满水, 将患手放入水面没及手腕处, 排出的水体积即为手的体积, 重复测量 3 次, 取平均值。测量时应注意手浸入深度、手部定位、水温、收集的总排水量、控制滴水的时间, 以确保体积收集的一致性[15]。水置换体积法作为测量身体部位体积的金标准, 其结果常被用来比较其他评估工具或测量方法的可靠性和有效性。但该方法测量精度可能会因多种因素而降低[16], 包括由于温度和大气压力差异导致的表面张力变化、水的密度以及刻度精度的限制, 其测量误差达 25 ml, 且不能确定水肿液在组织中的分布情况。而且将受伤或疼痛的肢体浸泡在液体中可能会导致疼痛和感染等问题。

2.2.2. 水肿体液成分分析法

(1) 反射太赫兹(THz)成像: 太赫兹波段是指 100 GHz 至 10 THz 频率范围内的非电离电磁波, 其生物组织反射成像显示出高对比度, 可以无创、快速检测出烧伤引起的水肿液体变化。水的太赫兹频率介电常数明显高于非水成分, 与正常皮肤相比, 烧伤组织在 0.5 至 0.7 THz 的频率范围内表现出更高的反射率, 这可能是由于烧伤后间质水肿的形成所致[17]。可以认为, 在大鼠烧伤水肿模型观察到的聚集反射信号, 表现为体内 THz 成像, 即组织含水量。在部分厚度和全厚度烧伤中 THz 反射率与在组织深度(>258 μm)下分析的 MRI 数据之间存在明显的强正相关, 进一步支持 THz 成像作为一种可接受的、非侵入性的和准确的新兴技术来跟踪组织中的液体[18]。

(2) 生物阻抗谱(BIS): BIS 是 1969 年首次借助体表电极系统精确测量体内总水分的技术[19], 后发展为测量人体局部部位的体积。利用生物组织的电阻抗特性, 采用频率为 5~1000 kHz 的交流电测量人体对电流的阻碍程度, 从而推测出人体组织成分。由于低频交流电倾向于沿细胞外液传导, 可以认为 0 Hz 交流电沿细胞外液传导时测得的电阻抗近似于细胞外液的电阻抗。但 0 Hz 的交流电也就是直流电, 对人

体有伤害,因此采用 5~1000 kHz 多次测量并计算出细胞外液的电阻抗,从而间接了解水肿的程度。BIS 测量只需将电极连接到指定位置,启动测量程序,数分钟后即可快速测量出结果[20]。对于烧伤手水肿患者,可以将电极片贴于手指与手腕之间,即可测量手指与手腕之间区域的细胞外液体积。众多研究证明,局部 BIS 是一种高度灵敏的液体体积测量方法,并且从位于测定区域周围不同位置的电极均获得了高度可重复的数据[21][22]。特别是在 10 ml 体积变化时,局部组织细胞外液的体积变化可检测的最小差异比体内总水分准确四倍。而且,对于植入心脏电子设备的患者是可以安全使用的[23]。但是相关研究发现纳米银敷料覆盖对于测量烧伤患者液体体积的生物阻抗光谱有显著影响。当使用纳米银敷料覆盖烧伤创面时,所测电阻显著降低[22]。

2.2.3. 影像类辅助检查方法

(1) 近红外荧光成像技术(Near-Infrared Fluorescence, NIRF): 采用吖啶菁绿作为显像剂,利用荧光探针在 1000~1700 nm 波长下激发出近红外荧光,通过成像设备显示出手水肿内部的荧光分布情况,比传统的荧光成像具有更高的组织穿透深度和时间、空间分辨率。NIRF 不仅可以实时动态监测淋巴管搏动频率及淋巴流速,而且 NIRF 无需放射性物质,设备便捷,操作容易。NIRF 还具有用于淋巴水肿早期筛查的潜力,能够在肿胀出现前监测到水肿的迹象[24]。研究表明,在烧伤患者中,深度部分厚度烧伤的含水量增加 23%,而浅表部分厚度烧伤的含水量增加 18% [25]。尽管 NIRF 在淋巴成像方面具有实时动态监测的优势,但在应用于手部时,仍需注意其技术伪影。由于手部曲面和指蹼的存在,荧光信号采集可能因成像距离和角度的变化而产生信号衰减或伪影,影响定量分析的准确性。因此,虽然 NIRF 穿透深度较传统方法有所提高,但对于手部分位置的淋巴成像仍存在局限。

(2) 光学相干断层扫描技术(Optical Coherence Tomography, OCT): 使用低相干近红外光生成组织光学散射的二维图像,有效地创建“光学超声”,能够以微米分辨率进行高达几毫米的深层组织成像[26],可以区分出角质层、表皮层以及附属结构和血管层等,已被用于检查人类皮肤、血管和淋巴管。Wan Qin 等人首次使用 OCT 技术对小鼠浅度烧伤耳模型中的水肿进行成像和量化,利用定制开发的半自动软件分割小鼠耳朵皮肤层,准确测量水肿体积和组织厚度[27],但对于烧伤手水肿方面还没有学者进行研究。OCT 技术虽然提供了微米级的分辨率,但其成像深度限制了其在手部水肿评估中的应用范围,难以穿透增厚的全层皮肤或瘢痕组织。光学微血管造影(Optical Microangiography, OMAG),也称人体皮肤体内淋巴管造影,是 OCT 技术的创新延伸,能够以秒的速度绘制淋巴网络以及血管网络,不仅无需皮下注射造影剂来成像淋巴管,也不通过放射性方式显像。然而,OMAG 横向分辨率约 22 μm ,无法建立小血管和毛细淋巴管成像[28]。

(3) 其他: 双能 X 线是一种二维扫描技术,可以测量手水肿后瘦肌量和脂肪量的增加体积,从而达到间接测量水肿体积的变化[29]。超声可以清晰地描述手水肿后真皮和皮下组织厚度与回声变化的关系[30]。计算机断层摄影利用灰度值反映水肿后皮肤及皮下组织对 X 线的吸收程度的断层图像。磁共振成像可帮助区分水、脂肪等组织, MRI 淋巴管图像可以测量淋巴管的水肿液体引流情况,其三维重建可以对烧伤后淋巴水肿肢体容积进行测定[31]。非侵入性光学成像方法还包括高光谱成像、多光谱成像、漫反射光谱、激光多普勒成像、激光散斑成像、空间频域成像和荧光成像、数码相机成像、立体摄影测量等等。

2.2.4. 侵入性方法

(1) 组织活检: 皮肤和软组织活检,测定干湿重比是定量检测烧伤水肿的较普遍技术。在动物模型中,需要包含浅表肌肉、筋膜,因为很多实验证明水肿发生在表皮和真皮之间。但由于这是有创性检测,而且组织化学评估可能需要几天的时间,不能实时监测水肿的动态变化,临床应用不大[32]。

(2) 注射标记水扫描: 是一种用于评估体液分布的方法,通过测量组织含水量(TWC)来提供有关体内

液体分布的信息。这种技术通常使用一种被称为指示剂的物质，该物质在体内注射后会稀释并与体液混合。然后，通过体液中指示剂的浓度变化，可以推断出组织含水量。尽管注射标记水扫描是一种准确评估体液分布的方法，但它的侵入性特点使得它在临床实践中的应用受到一定限制。

(3) 同位素淋巴管造影技术：是一种应用放射性核素示踪技术进行研究和诊断的方法。在烧伤水肿评估中，可以使用 0.15 ml 99mTc-标记硫化锑胶体皮下注射，根据其通畅情况显示淋巴回流通畅与否，从而间接反映水肿程度[33]。

3. 小结和展望

综上所述，手烧伤后水肿程度的评估，包括主观检查和客观检查。主观检查包括相关症状、体征的评估，但存在主观差异性。客观检查包括侵入性和非侵入性方法，围度测量和水置换体积法是临床上应用最为广泛的非侵入性方法，但精确度有限。8 字测量法是近几年研究较多的可替代水置换体积法，甚至可以作为水肿测量金标准。THz 成像在烧伤水肿后可以立即使用，并且可以连续性量化水肿，但目前仅在大鼠模型中进行研究。BIS 凭借其良好的敏感性，可作为烧伤后早期水肿筛查的重要手段。随着医学影像学技术的进步，影像学辅助检查在烧伤水肿评估中的应用价值越来越高。虽然近红外荧光成像目前仍处于研究阶段，但其具有动态观测淋巴水肿变化的潜力。光学相干断层扫描技术和三维成像技术、MR 淋巴成像等方法可以提供更详细的图像信息，帮助医生观察和评估水肿情况。基于烧伤病程演变和创面状态，我们总结了手烧伤后水肿评估的分层推荐方案(见表 1)，以期为临床实践和未来研究提供参考。不管选择以上哪种方法，均建议进行主观检查和客观检查相结合以提高测量结果的准确性。随着新技术的不断发展和成熟，将继续为烧伤后手水肿测量提供更精确的结果，同时也为水肿治疗有效性提供有力的证据。

Table 1. Recommended stratification scheme for edema assessment after hand burns

表 1. 手烧伤后水肿评估分层推荐方案

烧伤阶段	创面特点	推荐评估方法	核心优势	注意事项
急性期 (0~72 小时)	创面开放、渗出 感染风险高 疼痛明显	一线选择: • 主观症状/体征评估 • BIS 二线选择: • THz	• 非接触/微接触，避免感染 • BIS 可定量监测细胞外液变化 • THz 可连续量化水肿	• BIS 需避开纳米银敷料 • THz 目前主要用于动物实验 • 建议每日动态观察
亚急性期/康复早期 (3~14 天)	创面部分或完全闭合	一线选择: • 8 字法围度测量 • 掌骨头部围测量 • 手指周长测量 金标准对照: • 水置换体积法 结构成像: • 高频超声 • OCT 淋巴功能评估: • NIRF 微结构成像: • OCT/OMAG 侵入性方法: • 组织活检 • 注射标记水扫描 • 同位素淋巴造影	• 简便易行，床旁可操作 • 8 字法与体积法高度相关 ($r = 0.70\sim 0.99$) • 适合动态随访	水置换体积法重复测量 3 次取均值
慢性期/康复后期 (>14 天)	创面愈合 关注淋巴回流障碍 关注纤维化/瘢痕		• 动态监测淋巴流速 • OMAG 无需造影剂 • 可区分水肿/脂肪/纤维化	侵入性方法由于是有创性检测，临床应用不大

注：BIS，生物阻抗谱；THz，反射太赫兹；OCT，光学相干断层扫描；NIRF，近红外荧光；OMAG，光学微血管造影；MRI，磁共振成像。

基金项目

福建省医疗“创双高”建设经费(闽卫医政[2021]76号); 福建省烧创伤重点实验室。

参考文献

- [1] Peck, M.D. (2011) Epidemiology of Burns Throughout the World. Part I: Distribution and Risk Factors. *Burns*, **37**, 1087-1100. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2011.06.005>
- [2] Smith, M.A., Munster, A.M. and Spence, R.J. (1998) Burns of the Hand and Upper Limb—A Review. *Burns*, **24**, 493-505. [https://doi.org/10.1016/s0305-4179\(98\)00063-1](https://doi.org/10.1016/s0305-4179(98)00063-1)
- [3] Lin, S., Chang, J., Chen, P. and Mao, H. (2013) Hand Function Measures for Burn Patients: A Literature Review. *Burns*, **39**, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2012.08.020>
- [4] Edgar, D.W., Wood, F. and Goodwin-Walters, A. (2006) First Response, Rehabilitation, and Outcomes of Hand and Upper Limb Function: Survivors of the Bali Bombing Disaster. a Case Series Report. *Journal of Hand Therapy*, **19**, 283-298. <https://doi.org/10.1197/j.jht.2006.04.003>
- [5] Edger-Lacoursière, Z., Deziel, E. and Nedelec, B. (2023) Rehabilitation Interventions after Hand Burn Injury in Adults: A Systematic Review. *Burns*, **49**, 516-553. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2022.05.005>
- [6] Shirani, K.Z., Vaughan, G.M., Mason, A.D. and Pruitt, B.A. (1996) Update on Current Therapeutic Approaches in Burns. *Shock*, **5**, 16. <https://doi.org/10.1097/00024382-199601000-00004>
- [7] Richard, R., Staley, M., Miller, S. and Warden, G. (1996) To Splint or Not to Splint—Past Philosophy and Present Practice. *Journal of Burn Care & Rehabilitation*, **17**, 444-453. <https://doi.org/10.1097/00004630-199609000-00014>
- [8] Llanos, C., Gan, E.Y., Chen, J., Lee, M., Kilbreath, S.L. and Dylke, E.S. (2021) Reliability and Validity of Physical Tools and Measurement Methods to Quantify Hand Swelling: A Systematic Review. *Physical Therapy*, **101**, pzaa206. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzaa206>
- [9] Leard, J.S., Breglio, L., Fraga, L., Ellrod, N., Nadler, L., Yasso, M., et al. (2004) Reliability and Concurrent Validity of the Figure-of-Eight Method of Measuring Hand Size in Patients with Hand Pathology. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, **34**, 335-340. <https://doi.org/10.2519/jospt.2004.34.6.335>
- [10] Dewey, W.S., Hedman, T.L., Chapman, T.T., Wolf, S.E. and Holcomb, J.B. (2007) The Reliability and Concurrent Validity of the Figure-of-Eight Method of Measuring Hand Edema in Patients with Burns. *Journal of Burn Care & Research*, **28**, 157-162. <https://doi.org/10.1097/bcr.0b013e31802c9eb9>
- [11] Yamazaki, H., Sakurai, T., Uchiyama, S. and Kato, H. (2018) Reliability and Concurrent Validity of the Ring Gauge Method and the Metacarpal Head Tape Measure Method of Measuring Hand Size. *The Journal of Hand Surgery (Asian-Pacific Volume)*, **23**, 382-387. <https://doi.org/10.1142/s2424835518500418>
- [12] Mayrovitz, H.N., Sims, N., Hill, C.J., et al. (2006) Hand Volume Estimates Based on a Geometric Algorithm in Comparison to Water Displacement. *Lymphology*, **39**, 95-103.
- [13] Sander, A.P., Hajer, N.M., Hemenway, K. and Miller, A.C. (2002) Upper-Extremity Volume Measurements in Women with Lymphedema: A Comparison of Measurements Obtained via Water Displacement with Geometrically Determined Volume. *Physical Therapy*, **82**, 1201-1212. <https://doi.org/10.1093/ptj/82.12.1201>
- [14] Eccles, M.V. (1956) Hand Volumetrics. *The British Journal of Physical Medicine: Including Its Application to Industry*, **19**, 5-8.
- [15] Borthwick, Y., Paul, L., Sneddon, M., McAlpine, L. and Miller, C. (2013) Reliability and Validity of the Figure-Of-Eight Method of Measuring Hand Size in Patients with Breast Cancer-Related Lymphoedema. *European Journal of Cancer Care*, **22**, 196-201. <https://doi.org/10.1111/ecc.12024>
- [16] McKinnon, J.G., Wong, V., Temple, W.J., Galbraith, C., Ferry, P., Clynch, G.S., et al. (2007) Measurement of Limb Volume: Laser Scanning versus Volume Displacement. *Journal of Surgical Oncology*, **96**, 381-388. <https://doi.org/10.1002/jso.20790>
- [17] Toon, C.D., Sinha, S., Davidson, B.R. and Gurusamy, K.S. (2015) Early versus Delayed Post-Operative Bathing or Showering to Prevent Wound Complications. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2015**, CD010075. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd010075.pub3>
- [18] Bajwa, N., Sung, S., Ennis, D.B., Fishbein, M.C., Nowroozi, B.N., Ruan, D., et al. (2017) Terahertz Imaging of Cutaneous Edema: Correlation with Magnetic Resonance Imaging in Burn Wounds. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, **64**, 2682-2694. <https://doi.org/10.1109/tbme.2017.2658439>
- [19] Hoffer, E.C., Meador, C.K. and Simpson, D.C. (1969) Correlation of Whole-Body Impedance with Total Body Water Volume. *Journal of Applied Physiology*, **27**, 531-534. <https://doi.org/10.1152/jappl.1969.27.4.531>

- [20] Kyle, U.G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A.D., *et al.* (2004) Bioelectrical Impedance Analysis? Part I: Review of Principles and Methods. *Clinical Nutrition*, **23**, 1226-1243. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.06.004>
- [21] Kenworthy, P., Grisbrook, T.L., Phillips, M., Gittings, P., Wood, F.M., Gibson, W., *et al.* (2017) Bioimpedance Spectroscopy: A Technique to Monitor Interventions for Swelling in Minor Burns. *Burns*, **43**, 1725-1735. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2017.04.022>
- [22] Grisbrook, T.L., Kenworthy, P., Phillips, M., Wood, F.M. and Edgar, D.W. (2016) Nanocrystalline Silver Dressings Significantly Influence Bioimpedance Spectroscopy Measurements of Fluid Volumes in Burns Patients. *Burns*, **42**, 1548-1555. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2016.04.008>
- [23] Chabin, X., Taghli-Lamalle, O., Mulliez, A., Bordachar, P., Jean, F., Futier, E., *et al.* (2019) Bioimpedance Analysis Is Safe in Patients with Implanted Cardiac Electronic Devices. *Clinical Nutrition*, **38**, 806-811. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.02.029>
- [24] Unno, N., Inuzuka, K., Suzuki, M., Yamamoto, N., Sagara, D., Nishiyama, M., *et al.* (2007) Preliminary Experience with a Novel Fluorescence Lymphography Using Indocyanine Green in Patients with Secondary Lymphedema. *Journal of Vascular Surgery*, **45**, 1016-1021. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2007.01.023>
- [25] Cross, K.M., Leonardi, L., Gomez, M., Freisen, J.R., Levasseur, M.A., Schattka, B.J., *et al.* (2009) Noninvasive Measurement of Edema in Partial Thickness Burn Wounds. *Journal of Burn Care & Research*, **30**, 807-817. <https://doi.org/10.1097/bcr.0b013e3181b485e9>
- [26] Cobb, M.J., Chen, Y., Underwood, R.A., Usui, M.L., Olerud, J. and Li, X. (2006) Noninvasive Assessment of Cutaneous Wound Healing Using Ultrahigh-Resolution Optical Coherence Tomography. *Journal of Biomedical Optics*, **11**, Article 064002. <https://doi.org/10.1117/1.2388152>
- [27] Qin, W. and Wang, R.K. (2016) Assessment of Edema Volume in Skin Upon Injury in a Mouse Ear Model with Optical Coherence Tomography. *Lasers in Medical Science*, **31**, 1351-1361. <https://doi.org/10.1007/s10103-016-1984-x>
- [28] Baran, U., Qin, W., Qi, X., Kalkan, G. and Wang, R.K. (2016) OCT-Based Label-Free *in Vivo* Lymphangiography within Human Skin and Areola. *Scientific Reports*, **6**, Article No. 21122. <https://doi.org/10.1038/srep21122>
- [29] Dylke, E.S., Ward, L.C., Meerkin, J.D., Nery, L. and Kilbreath, S.L. (2013) Tissue Composition Changes and Secondary Lymphedema. *Lymphatic Research and Biology*, **11**, 211-218. <https://doi.org/10.1089/lrb.2013.0018>
- [30] Tassenoy, A., De Strijcker, D., Adriaenssens, N. and Lievens, P. (2016) The Use of Noninvasive Imaging Techniques in the Assessment of Secondary Lymphedema Tissue Changes as Part of Staging Lymphedema. *Lymphatic Research and Biology*, **14**, 127-133. <https://doi.org/10.1089/lrb.2016.0011>
- [31] Maita, K., Garcia, J.P., Torres, R.A., Avila, F.R., Kaplan, J.L., Lu, X., *et al.* (2022) Imaging Biomarkers for Diagnosis and Treatment Response in Patients with Lymphedema. *Biomarkers in Medicine*, **16**, 303-316. <https://doi.org/10.2217/bmm-2021-0487>
- [32] Brodovicz, K.G., McNaughton, K., Uemura, N., Meininger, G., Girman, C.J. and Yale, S.H. (2009) Reliability and Feasibility of Methods to Quantitatively Assess Peripheral Edema. *Clinical Medicine & Research*, **7**, 21-31. <https://doi.org/10.3121/cmr.2009.819>
- [33] Proby, C.M., Gane, J.N., Joseph, A.E.A. and Mortimer, P.S. (1990) Investigation of the Swollen Limb with Isotope Lymphography. *British Journal of Dermatology*, **123**, 29-37. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.1990.tb01821.x>