

高能量激光在康复中的应用进展

张瑞媿¹ 唐文庆¹ 殷稚飞²

¹南京市栖霞区医院康复科,南京 210046; ²南京医科大学第一附属医院康复医学中心,南京 210029

通信作者:殷稚飞,Email:feifei44881@sina.com

【摘要】 高能量激光治疗(HILT)是一种新型的激光治疗技术,其作用原理基于低能量激光,但能量较高,可结合生物刺激和光学机械刺激,通过快速、高效的增加组织对腺苷三磷酸(ATP)的运用能力,达到促进局部组织血液循环、缓解肌肉和关节疼痛、改善肌肉痉挛等治疗作用。本文综述了 HILT 在康复中的应用进展和作用机制,以期为临床上 HILT 的应用和研究提供参考资料。

【关键词】 高能量激光; 康复治疗

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.11.018

从 60 年代末期 Mester 发现了激光治疗的生物刺激效应至今,激光治疗已经得到了卓越发展及广泛的临床推广。其中低能量激光治疗(low-level laser therapy, LLLT)在调节炎症反应、减缓疼痛、抑制深层组织损伤等方面的疗效已得到普遍认可^[1],但其作用深度较浅,激光能量在穿过软组织时衰减较多,不能产生足够的生物学效应^[2]。高能量激光治疗(high-intensity laser therapy, HILT)是一种新型的激光治疗技术,其作用原理基于低能量激光,但能量较高,可结合生物刺激和光学机械刺激,通过快速、高效的增加组织对腺苷三磷酸(Adenosine triphosphate, ATP)的运用能力,达到促进局部组织血液循环,缓解肌肉和关节疼痛、改善肌肉痉挛等治疗作用^[3]。

近年来,HILT 的临床应用不断拓展,主要包括缓解肌肉骨骼及内脏疾病疼痛、增强骨再生能力、修复受损神经、促进皮肤伤口愈合等。本文就 HILT 在康复中的应用进行阐述。

HILT 的治疗原理

一、物理学特性

目前临床使用的 HILT 设备,参数多为最大功率 12 W、波长 1064 nm 或 980 nm 的脉冲 Nd:YAG 激光器。较 LLLT 而言,12 W 功率的激光能量密度高,有效治疗剂量比 LLLT 大很多,且可以使更多光子有效地作用到更深的靶组织进行治疗,而不会导致表层皮肤过热^[4]。1064 nm 波长属近红外波段,在人体组织中穿透深度可达 5 cm,激光能量的扩散深度较 LLLT 可超过 1~3 cm^[5]。而且,因为在组织中更少被反射、光束更加集中,所以 1064 nm 波长的近红外光谱组织转化利用率高,能有效抵达更深层组织^[6]。需要指出的是,HILT 属于 IV 类激光,由于皮肤中的黑色素会大量吸收激光能量,深肤色在治疗剂量过大时有灼烧的感觉,易造成静脉壁内皮细胞热损伤,造成瘀伤、疼痛等不良反应,严重者可能出现静脉内壁穿孔,故 HILT 使用前需要进行 Fitzpatrick 皮肤分型确定治疗剂量^[7]。

二、生理学效应

HILT 可以引起调节炎症的介质表达,促进组织愈合,可能机制如下。

1. HILT 能影响细胞增殖、基因表达、生长因子和细胞因子的释放,从而抑制炎症和促进血管新生^[8]。

2. HILT 峰值振幅的升高有着非常短暂的停留时间,热量的积累少,迅速激活深层组织的细胞代谢,从而使痛觉纤维的神经传导速度减慢,迅速缓解疼痛^[9]。

3. HILT 的光生物调节对神经有直接抑制作用,可以减少急性疼痛输入到中枢神经系统,而在慢性疼痛中,HILT 则是通过诱导脊髓变化,从而抑制中枢性疼痛^[10]。

4. HILT 还可以促进组织的微循环,有研究报道,HILT 比 LLLT 更能对膝关节的微循环产生明显积极的变化,纠正局部血液循环、抗炎消肿、减少结缔组织破坏、改善关节的运动功能等^[11]。

HILT 在康复治疗中的临床应用

一、HILT 在肌肉骨骼系统的临床应用

HILT 在肌肉、软组织等疼痛治疗的文献最多,特别是在纤维肌痛综合征和肌筋膜炎的疗效较为肯定。其次在骨性关节炎、椎间盘突出等的治疗也有较多文献报道。

Dundar 等^[12]采用随机双盲对照的研究方法观察了 HILT 治疗慢性斜方肌筋膜炎的有效性,随机分为治疗组和安慰组,治疗组采用脉冲 Nd:YAG 激光,每日治疗 1 次,每次 15 min,每周治疗 5 d,连续治疗 3 周。结果显示,2 组患者治疗后 4 周和 12 周后,其所有指标都较组内治疗前均显著改善,且治疗的疗效都优于安慰组。该研究证实,HILT 对改善肌筋膜炎疼痛综合征的疼痛症状有效,且效果可维持 12 周,治疗过程中也未出现不良反应。在另一份个案报道中^[13],研究者比较了波长 1275 nm,强度分别为 1 W、42 W 和 75 W 的激光对一例 67 岁患有纤维肌痛综合征女性的治疗情况,该患者同时在肩关节和髋关节接受了 HILT 治疗,且在有症状的区域,用激光探针探入皮下 12 个位点。该研究结果显示,尽管 1W 的治疗能减轻症状,但 42 W 和 75 W 的 HILT 可更显著地降低患者的疼痛评分,提高睡眠质量,且在治疗后 4~10 d 仍有明显改善,说明 HILT 对纤维肌痛症的疗效优于 LLLT。

HILT 是治疗下背痛的安全有效的方法之一。Choi 等^[14]将慢性背痛患者 20 例随机分为物理治疗组和激光治疗组,物理治疗组接受了 20 min 的热疗、15 min 的干涉波治疗和 5 min 的超声波治疗;激光治疗组在此基础上增加了 HILT 治疗。治疗 4 周后,结果显示,激光治疗组的疼痛评分和日常生活活动能力

均优于物理治疗组治疗后。Alayat 等^[15]将下背痛患者 72 例随机分为 HILT 联合运动训练组、安慰治疗联合运动训练组和 HILT 组。HILT 治疗分 3 阶段进行,共 15 min,第一阶段快速扫描,能量密度为 610 mJ/cm²、710 mJ/cm² 和 810 mJ/cm²;第二阶段能量密度为 610 mJ/cm²;第三阶段除激光探头的扫描速度比第一阶段慢外,其余参数相同。该方案每周 3 次,共 4 周。治疗前、后分别评估患者的腰椎关节活动度、视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)评分、罗兰残疾调查问卷(Roland disability questionnaire, RDQ)及改良 Oswestry 功能障碍问卷(modified Oswestry disability questionnaire, MODQ)。结果表明,HILT 与运动结合可以有效地增加腰椎肩关节活动度(range of motion, ROM),改善 VAS、RDQ、MODQ 疼痛和残障评分,且疗效可持续至治疗 12 周后。该研究认为,HILT 联合运动训练是治疗慢性下背痛最有效的方法。

HILT 有利于缓解肩周炎疼痛。Santamato 等^[16]比较了 HILT 和超声波治疗肩峰下撞击综合征的短期疗效,该实验将 70 例肩周炎患者随机分为 2 组,35 例患者接受 HILT(治疗组),另 35 例患者接受超声波治疗(对照组),HILT 治疗方案与 Alayat 等^[15]的研究方法相同,治疗 2 周后,治疗组患者的肩关节功能评分(constant-murley scale, CMS)、VAS 和简易肩部测试评分(simple shoulder test, SST)均显著优于对照组,该结果说明,HILT 可显著改善肩周炎患者的疼痛程度、ROM 和肩部肌肉力量。Kim 等^[17]将肩周炎患者 66 例随机分为 2 组,HILT 组和假治疗组,每组 33 例,结果显示,HILT 组在治疗 3 周后和第 8 周随访时,其 VAS 评分显著优于假治疗组,但在随访 12 周时,2 组无明显差异。该研究证明,HILT 有利于缓解肩周炎疼痛,但剂量和疗效维持时间还需进一步观察。

HILT 可以缓解膝关节骨性关节炎患者的疼痛。Angelova 等^[18]将膝关节骨性关节炎患者 72 例随机分为 HILT 组和假激光组,采用波长 1064 nm 的半导体钕激光器,每日治疗 1 次,共治疗 7 次,其中前 3 次使用镇痛模式,治疗能量强度为 12 J/cm²,频率为 25 Hz,共 300 J,治疗面积 25 cm²,每次治疗 2 min;后 4 次使用生物刺激模式,能量强度为 120 J/cm²,共 3000 J,治疗面积 25 cm²,作用于膝关节内侧,每次治疗 10 min。研究结果显示,治疗 7 d 后,HILT 组的疼痛水平显著下降,明显优于假激光组,且维持效应更明显,可持续 3 个月。

HILT 还可以增强骨的再生能力。基础研究表明,能量密度为 2.85 J/cm²、波长为 910 nm 的 HILT 可以促进小鼠成骨细胞 DNA 合成,激活磷酸化丝裂原活化蛋白激酶系统的活性,促进细胞迁移能力和 ATP 合成,从而加速骨组织的愈合,促进成骨细胞的扩散和迁移^[19]。另一项实验也证实,波长 1064 nm、能量密度为 344 J/cm² 的 Nd:YAG 激光,对颅骨缺损模型的骨质再生有促进作用^[20]。目前鲜见激光对人体骨质影响的临床研究,但是以上研究提示,HILT 在促进局部骨愈合有很大的潜力。

二、HILT 在伤口的临床应用

HILT 在促进皮肤伤口愈合方面有好的疗效。这是因为:

①HILT 作用于真皮层的皮脂腺,可以调节皮脂分泌、促进炎症吸收;②HILT 可以避免伤口周围结节、囊肿的形成,可以促进皮肤胶原蛋白增生、刺激胶原纤维和弹性纤维重新排列,从而减少纤维化及疤痕形成;③HILT 还可以激活淋巴引流通路,刺激新通路生长和/或刺激局部淋巴细胞^[21]。

首先,HILT 可以治疗烧伤后瘙痒。Ebid 等^[22]将烧伤患者 49 例随机分为安慰剂组(25 例)和激光组(24 例),激光组的干预方法为 HILT 垂直照射于前臂和手的烧伤部位,每周 3 次,每次 15 min,连续 6 周,共 18 次,并且每天接受常规治疗(西替利嗪摄入 30 mg 结合椰子油按摩烧伤疤痕)。于治疗前、治疗 6 周和 12 周后进行改良瘙痒严重程度量表(modified version of the itch severity scale, ISS)、生活质量(Quality of life, QOL)、VAS 和手的握力评分,并记录每日西替利嗪摄入量,结果发现,治疗后,激光组 ISS、QOL、VAS 评分和手的均显著优于安慰剂组治疗后,西替利嗪的摄入量也显著减少,且治疗效果可维持到治疗结束后 6 周。

HILT 对乳腺癌乳房切除术后的切口痛亦有不错疗效。现有治疗中,冷冻治疗、经皮电刺激和按摩等应用于肿瘤患者时都必须非常谨慎,而 HILT 无痛无创且不会产生深层热,可方便地应用于该类术后伤口的止痛。Ebid 等^[23]研究了 HILT 治疗乳腺癌术后疼痛综合征的远期疗效,将乳腺癌术后疼痛综合征的患者 61 例随机分为激光组 30 例,安慰激光组 31 例,结果发现,激光组接受 HILT 治疗 4 周和 12 周后,其 VAS 评分、ROM 和 QOL 均显著优于安慰组。因此 HILT 治疗对乳房切除术后疼痛综合征患者是一种有效的物理治疗方式,其疗效也更持久。

Ebid 等^[24]还研究了 HILT 对脊柱裂患儿神经性足溃疡的疗效,结果发现,治疗 5 周和 10 周后,接受 HILT(总能量 300~350 J)治疗的脊柱裂并神经性足溃疡的创面面积明显减少,显著优于假 HILT 组。

三、HILT 在妇科的临床应用

HILT 应用于妇科领域的文献不多,但近年来的数据表明,HILT 对妇科疾病止痛、消炎的作用也不容忽视,且该项技术具有无痛无创、非侵入性、操作简便等优势,故临床应用日益广泛。Thabet 等^[25]比较了 HILT 与脉冲电磁场(pulsed electromagnetic field, PEMF)治疗原发性痛经的疗效,结果发现,HILT 组患者的疼痛程度明显减轻,血前列腺素水平也明显降低,且疗效显著优于 PEMF 组。

子宫内异位症是影响育龄女性最常见的妇科疾病之一。Thabet 等^[26]观察了 HILT 治疗对子宫内异位症患者疼痛、粘连和 QOL 的影响,结果显示,与假 HILT 组相比,HILT 疗效显著,子宫内异位症患者的疼痛、粘连和 QOL 均优于组内治疗前和假 HILT 组,由此证明,HILT 对于子宫内异位是一种可有效减轻疼痛、减少粘连、提高 QOL 的方法。

四、HILT 在神经系统损伤的临床应用

HILT 对受损神经也有修复作用,可用于治疗外周性神经损伤^[27]。Alayat 等^[28]研究比较了 HILT 与 LLLT 对周围性面瘫的疗效,结果显示,治疗 3 周和 6 周后,HILT 组的面部残疾量表(the facial disability scale, FDI)和 House-Brackmann 量表(the House-Brackmann scale, HBS)评分均显著优于组内治疗前和 LLLT 治疗后同时间点。

总结

综上所述,HILT 在控制炎症、减轻疼痛和促进组织愈合等方面均有积极意义。目前,HILT 治疗方案尚无标准化,文献报道的治疗剂量、疗程等参数差异较大,对疗效观察也带来了一定的干扰。HILT 的临床效应与能量直接相关,能量密度或功率与激光辐射在减轻疼痛和炎症方面的效率密切相关。世界激

光治疗协会已确定,目标组织至少需要 $5\sim 7\text{ J/cm}^2$ 的能量密度才能激发治疗意义上的生物细胞反应,因此明确治疗剂量是当务之急。另外,HILT 的研究普遍缺乏长期疗效的数据,虽然其在治疗急、慢性疼痛中均产生短时效的正性效应,但该治疗方案尚未被医学界广泛接受,因此,我们仍需进一步探索验证。

参 考 文 献

- [1] Moreira GS, Machado Alves PH, Esper LA, et al.Effect of low-level laser on the healing of bone defects filled with autogenous bone or bio-active glass: in vivo study[J].Int J Oral Maxillofac Implants,2018,33(1):169-174.DOI: 10.11607/jomi.5900.
- [2] Ahmed OF, Elkharbotly AM, Taha N, et al.Treatment of mild to moderate carpal tunnel syndrome in patients with diabetic neuropathy using low level laser therapy versus ultrasound controlled comparative study[J].BBAClin, 2017, 20(8):43-47. DOI: 10.1016/j.bbaci.2017.07.001.
- [3] Sant'Anna EF, Araújo MTDS, Nojima LI, et al.High-intensity laser application in orthodontics[J].Dental Press J Orthod,2017,22(6):99-109.DOI: 10.1590/2177-6709.22.6.099-109.sar.
- [4] El-Shamy SM, Abdelaal AAM.Efficacy of pulsed high-intensity laser therapy on pain, functional capacity, and gait in children with haemophilicarthropathy[J].Disabil Rehabil,2018,40(4):462-468.DOI:10.1080/09638288.2016.1261416.
- [5] Hong SE, Hong MK, Kang SR, et al.Effects of neodymium-yttrium-aluminum garnet (Nd:YAG) pulsed high-intensity laser therapy on full thickness wound healing in an experimental animal model[J].J Cosmet Laser Ther, 2016, 18(8):432-437. DOI: 10.1080/14764172.2016.1202421
- [6] Karaca B.Effectiveness of high-intensity laser therapy in subacromial impingement syndrome[J].Photomed Laser Surg, 2016, 34(6):223-228.DOI: 10.1089/pho.2015.4005.
- [7] Vourliotakis G, Sahsamans G, Evagelidis P, et al.Endovascular laser treatment of incompetent saphenous veins using the 1470 nm diode laser and radial fiber[J].Ann Med Surg (Lond), 2018, 25(C):12-16. DOI: 10.1016/j.amsu.2017.12.002.
- [8] Peat FJ, Colbath AC, Bentsen LM, et al.In vitro effects of high-intensity laser photobiomodulation on equine bone marrow-derived mesenchymal stem cell viability and cytokine expression[J].Photomed Laser Surg,2018,36(2):83-91.DOI: 10.1089/pho.2017.4344.
- [9] Thabet EM, Elsodany AM, Battecha KH, et al.High-intensity laser therapy versus pulsed electromagnetic field in the treatment of primary dysmenorrhea[J].J Phys Ther Sci, 2017, 29(10):1742-1748. DOI: 10.1589/jpts.29.1742.
- [10] Alayat MSM, Mohamed AA, Helal OF, et al. Efficacy of high-intensity laser therapy in the treatment of chronic neck pain: a randomized double-blind placebo-control trial[J].Lasers Med Sci,2016,31(4):687-694. DOI: 10.1007/s10103-016-1910-2.
- [11] Kul'chitskaya DB, Konchugova TV, Luk'yanova TV, et al.The substantiation for the application of high-intensity laser therapy for the treatment of the patients presenting with gonarthrosis[J].Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult, 2015, 92(1):23-26. DOI: 10.17116/kurort2015123-26.
- [12] Dunder U, Turkmen U, Toktas H, et al.Effect of high-intensity laser therapy in the management of myofascial pain syndrome of the trapezius: a double-blind, placebo-controlled study[J].Lasers Med Sci, 2015, 30(1):325-332. DOI: 10.1007/s10103-014-1671-8.
- [13] Paul F. White, et al.Treatment of drug-resistant fibromyalgia symptoms using high-intensity laser therapy: a case-based review[J].Rheumatol Int,2018,38(3):517-523. DOI: 10.1007/s00296-017-3856-5.
- [14] Choi HW, Lee J, Lee S, et al.Effects of high intensity laser therapy on pain and function of patients with chronic back pain[J].J Phys Ther Sci,2017,29(6):1079-1081. DOI: 10.1589/jpts.29.1079.
- [15] Alayat MS, Atya AM, Ali MM, et al.Long-term effect of high-intensity laser therapy in the treatment of patients with chronic low back pain: a randomized blinded placebo-controlled trial[J].Lasers Med Sci,2014, 29(3):1065-1073. DOI: 10.1007/s10103-013-1472-5.
- [16] Santamato A, Solfrizzi V, Panza F, et al.Short-term effects of high-intensity laser therapy versus ultrasound therapy in the treatment of people with subacromial impingement syndrome: a randomized clinical trial[J].Phys Ther, 2009, 89(7):643-652. DOI: 10.2522/ptj.20080139.
- [17] Kim SH, Kim YH, Lee HR, et al.Short-term effects of high-intensity laser therapy on frozen shoulder: a prospective randomized control study[J].Man Ther, 2015, 20(6):751-757. DOI: 10.1016/j.math.2015.02.009.
- [18] Angelova A, Ilieva EM.Effectiveness of high intensity laser therapy for reduction of pain in knee osteoarthritis[J].Pain Res Manag, 2016, 2016(1):9163618. DOI: 10.1155/2016/9163618.
- [19] Kim GJ, Choi J, Lee S, et al.The effects of high intensity laser therapy on pain and function in patients with knee osteoarthritis[J].J Phys Ther Sci,2016, 28(11):3197-3199. DOI: 10.1589/jpts.28.3197.
- [20] Kim K, Kim IS, Cho TH, et al.High-intensity Nd:YAG laser accelerates bone regeneration in calvarial defect models[J].J Tissue Eng Regen Med,2015,9(8):943-951. DOI: 10.1002/term.1845.
- [21] Ebid AA, El-Kafy EM, Alayat MS.Effect of pulsed Nd:YAG laser in the treatment of neuropathic foot ulcers in children with spina bifida: a randomized controlled study[J].Photomed Laser Surg,2013,31(12):565-570. DOI: 10.1089/pho.2013.3533.
- [22] Ebid AA, Ibrahim AR, Omar MT, et al.Long-term effects of pulsed high-intensity laser therapy in the treatment of post-burn pruritus: a double-blind, placebo-controlled, randomized study[J].Lasers Med Sci,2017,32(3):693-701. DOI: 10.1007/s10103-017-2172-3.
- [23] Ebid AA, Elsodany AM. Long-term effect of pulsed high-intensity laser therapy in the treatment of post-mastectomy pain syndrome: a double blind, placebo-control, randomized study[J].Lasers Med Sci,2015, 30(6):1747-1755. DOI: 10.1007/s10103-015-1780-z.
- [24] Ebid AA, El-Kafy EM, Alayat MS.Effect of pulsed Nd:YAG laser in the treatment of neuropathic foot ulcers in children with spina bifida: a randomized controlled study[J].Photomed Laser Surg,2013,31(12):565-70. DOI: 10.1089/pho.2013.3533. Epub 2013 Oct 25.
- [25] Thabet AAE, Elsodany AM, Battecha KH, et al.High-intensity laser therapy versus pulsed electromagnetic field in the treatment of primary dysmenorrhea[J].J Phys Ther Sci,2017,29(10):1742-1748. DOI: 10.1589/jpts.29.1742. Epub 2017 Oct 21.
- [26] Thabet AAE, Alshehri MA.Effect of pulsed high-intensity laser therapy on pain, adhesions, and quality of life in women having endometriosis: a randomized controlled trial[J].Photomed Laser Surg,2018 Jul; 36(7):363-369. DOI: 10.1089/pho.2017.4419. Epub 2018 Apr 18.
- [27] Holanda VM, Chavantes MC, Wu X, et al.The mechanistic basis for photobiomodulation therapy of neuropathic pain by near infrared laser light[J].Lasers Surg Med, 2017, 49(5):516-524. DOI: 10.1002/lsm.22628.
- [28] Alayat MS, Elsodany AM, El Fiky AA.Efficacy of high and low level laser therapy in the treatment of bell's palsy: a randomized double blind placebo-controlled trial[J].Lasers Med Sci,2014,29(1):335-342. DOI: 10.1007/s10103-013-1352-z.

(修回日期:2019-09-18)

(本文编辑:阮仕衡)