

- the bradycardiac effect[J].J Thorac Cardiovasc Surg,2009,137(1):223—231.
- [23] Tsutsumi T, Ide T, Yamato M, et al. Modulation of the myocardial redox state by vagal nerve stimulation after experimental myocardial infarction[J]. Cardiovasc Res, 2008, 77(4): 713—721.
- [24] Deep-Brain Stimulation for Parkinson's Disease Study Group. Deep-brain stimulation of the subthalamic nucleus or the pars interna of the globus pallidus in Parkinson's disease[J]. N Engl J Med, 2001, 345 (13): 956—963.
- [25] Stefani A, Lozano AM, Peppe A, et al. Bilateral deep brain stimulation of the pedunculopontine and subthalamic nuclei in severe Parkinson's disease[J]. Brain, 2007, 130(Pt 6): 1596—1607.
- [26] Pierantozzi M, Palmieri MG, Galati S, et al. Pedunculopontine nucleus deep brain stimulation changes spinal cord excitability in Parkinson's disease patients[J]. J Neural Transm, 2008, 115(5): 731—735.
- [27] Steigerwald F, Volkmann J. Deep brain stimulation for movement disorders[J]. Nervenarzt, 2012, 83(8): 988—993.
- [28] 张建国, 马羽, 刘焕光. 深部脑电刺激术在中国的发展现状[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2009, 35(7): 385—387.
- [29] 张世忠, 张旺明, 徐强, 等. 微电极导向核团损毁术和深部脑电刺激术帕金森病的疗效分析[J]. 中华神经外科杂志, 2006, 2(12): 720—723.
- [30] Komotar RJ, Starke RM, Connolly ES, et al. Pallidal vs subthalamic deep brain stimulation for Parkinson disease[J]. Neurosurgery, 2010, 7(4): 25—27.
- [31] Obwegeser AA, Uitti RJ, Turk MF, et al. Thalamic stimulation for the treatment of midline tremors in essential tremor patients[J]. Neurology, 2000, 54(12): 2342—2344.
- [32] 刘金龙, 陈玲, 柯春龙, 等. 深部脑电刺激术帕金森近期疗效的初步探讨[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2009, 35(04): 208—211.
- [33] Mwenge GB, Rombaux P, Dury M, et al. Targeted hypoglossal neurostimulation for obstructive sleep apnoea. A 1 year pilot Study[J]. Eur Respir J, 2012, as doi: 10.1183/09031936.00042412.
- [34] Meyler WJ, de Jongste MJ, Rolf CA. Clinical evaluation of pain treatment with electrostimulation: a study on TENS in patients with different pain syndromes[J]. Clin J Pain, 1994, 10(1): 22—27.
- [35] George AT, Kalmar K, Panarese A, et al. Long-term outcomes of sacral nerve stimulation for fecal incontinence[J]. Dis Colon Rectum, 2012, 55 (3): 302—306.

·综述·

静态进展型支具在关节挛缩中的应用进展

李 军¹ 毕 胜^{1,2}

关节起着连接、带动和引导周围各个关节的作用,创伤后的功能障碍不仅使关节活动受限,还将影响到肢体的功能活动。长时间的制动可加重组织间的粘连,使关节软骨发生退行性改变,还可以使关节囊、韧带、肌肉等组织发生形态结构、生物化学及生物力学等方面的改变,甚至发生纤维化、钙化等情况,造成关节僵硬。

重新恢复关节活动度(range of motion, ROM)、肢体功能及生活独立性,对患者来说通常是一个极大的挑战。所以,应将康复治疗作为关节挛缩的治疗重心^[1]。在关节挛缩的治疗中,手术松解及麻醉下手法松解对关节僵直可能有效,但是风险较大,而保守治疗相对来说风险较低。静态进展性牵伸是一个较为省时的治疗技术,同时静态进展型支具(static progressive splinting)以应力松弛作为原理,可让患者本人来控制牵伸的角度以降低由过度牵伸而造成损伤的风险。故而今对关节挛缩的发展倾向于利用静态进展性牵伸及应力松弛作为原理的新技术,来实现对软组织牵伸,

达到增加关节活动范围的目的。现将静态进展型支具在关节挛缩中的应用情况综述如下。

1 关节挛缩的发病机制

关节挛缩致使关节活动度下降,导致明显的肢体功能障碍。关节挛缩是指关节囊或关节支持组织、或关节周围软组织纤维化和短缩,导致关节被动性伸展时有固定性高度抵抗力的一种关节运动受限症^[2]。如关节囊或韧带损伤后挛缩、肌肉损伤或缺血性挛缩、皮肤瘢痕挛缩等所导致的关节挛缩,常见于骨骼、关节和肌肉系统损伤及疾病后各种类型的神经瘫痪,以及长期卧床、长期坐轮椅的患者。不同病因导致的关节挛缩可表现为关节内、外组织的挛缩变性或瘢痕粘连,进而导致关节活动受限、功能障碍。正常情况下关节内、外结缔组织处于胶原与其他细胞外基质分解与合成的平衡状态,这种平衡维持着组织正常功能所需的组织结构和生物力学特性。当关节功能发生显著改变,作用于关节内、外结

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2013.08.024

1 解放军总医院康复医学中心,北京,100853; 2 通讯作者

作者简介:李军,女,硕士,技师; 收稿日期:2013-05-31

缔组织的应力负荷增加或减少,组织将发生形态、生物力学和生物化学的一系列改变。有研究者将这一现象称为“结构对生物力学的适应”^[3]。关节周围的结缔组织在正常情况下要承受张应力,如果在结缔组织缩短的位置上长时间的固定关节,作用于组织的张应力被消除,组织将会发生挛缩。粘连形成是关节活动受限的另一个重要原因,组织间液渗出或损伤后形成的瘢痕组织均可导致粘连。软组织在缩短的位置上长期固定,肌肉也会发生形态改变,肌节数目减少,肌肉组织缩短^[4-5],从而出现关节活动受限。

2 常用治疗方法

目前,康复多采用各种理疗如音频电疗、超声波、超短波、蜡疗,以及关节松动技术等综合治疗。但由于关节损伤后恢复时期较长,康复进展比较缓慢,给患者工作、经济和精神造成了较大的影响。夹板固定是使用较多的一种方法,多采用动态牵伸(低负荷渐进)原理的夹板,这种动态夹板(dynamic splinting)在软组织延长时可施加一种持续牵伸力对挛缩的关节进行牵伸^[6]。但是,动态夹板对于关节僵直的治疗过程较长、较为耗时。如Gaspar等^[7]观察了使用动态夹板治疗粘连性关节囊炎,发现它较之传统的物理治疗效果更好,但该治疗持续时间较长,降低了患者的依从性。

许多学者通过实验研究发现,关节软骨骨折损伤后,使用传统的动态夹板进行关节制动超过(72—78)h关节软骨可被纤维组织修复,关节固定超过6—12周后,没有损伤的关节软骨也发生明显的退行性改变。而肌肉、肌腱等软组织在关节制动3天后就开始出现粘连。这些情况使得患者不仅要面对创伤给机体运动带来的影响,还要应对制动所致的并发症。另外,部分患者不能得到及时、有效、系统的康复治疗,使关节的功能恢复更加困难^[8]。这将影响患者的工作以及日常生活,如不及时治疗可能会留下肢体的终身残疾。

3 静态进展型支具的应用原理

Slimani等^[9]认为关节长时间固定过程中,关节周围结缔组织中蛋白多糖(glycosaminoglycans, GAGs)和水份会丢失,从而导致胶原纤维分子内和分子间形成新的交联,造成组织的可延展性下降。结缔组织具有粘弹特性,在变短后可以被牵伸。这种特性使它在损伤后可达到一个弹性或是塑性形变的阶段。弹性形变是指固体受外力作用而使各点间相对位置的改变,当外力撤消后,固体又恢复原状;如果外力较大,当它的作用停止时,所引起的形变并不完全消失,而有剩余形变,称为塑性形变。软组织弹性形变后,当外力移除后,软组织会重新回到原有的长度。但当软组织发生塑性形变后,它将在外力去除后继续维持延长的长度。

机械装置现已作为牵伸治疗的一部分来帮助软组织达

到延长的塑性形变阶段^[10]。这种机械装置利用蠕变与应力松弛两种压力条件来达到软组织的塑性形变。蠕变是指固体材料在保持应力不变的条件下,应变随时间延长而增加的现象;而在总应变不变的条件下,由于试样内部的黏性应变分量随时间不断增长,使回弹应变分量随时间逐渐降低,从而导致变形恢复力随时间逐渐降低的现象称为应力松弛。以蠕变为基础的负荷是在发生移位时对软组织施加一个持续的外力。以往ROM受限可用动态夹板装置,施加持续的低负荷牵伸及蠕变负重,让患者在家中进行治疗。以此原理为基础的支具必须每天使用12h,连续7.5个月,由于软组织不能达到塑性形变,所以恢复关节角度的成功率非常低,并且在患者移除支具后所得到的活动范围会有所减少^[11]。而且长时间使用支具,也会降低患者的依从性,并增加皮肤受损的风险。

在应力松弛负荷条件下,移位持续,施加的外力是不断改变的。与蠕变负荷相比较,对软组织施加应力松弛负荷,可使软组织很快达到塑性形变阶段。螺旋扣支具的应用原理就是应力松弛,这个原理还可应用到静态进展型牵伸技术中。顾名思义,静态进展型牵伸定义为增加的、周期性的应力松弛。这种技术要求保持关节伸直、将瘢痕组织或挛缩的软组织在关节活动度末端进行牵拉,增加递增的关节位移,使软组织产生塑性形变,活动范围得到改善^[12]。由于静态进展型支具在关节末端会产生应力松弛作用,在关节活动的终末端持续牵伸,利用时间依从性减少软组织上的应力,逐渐导致软组织塑性形变^[13],使位移角度增加,这也是静态进展性应力的必然结果。这个原理在对腕关节僵直^[14]、肘关节僵直^[15]、膝关节僵直^[16]及踝关节僵直^[17]进行治疗时也获得令人满意的效果。

当今在肘关节僵直的治疗中,静态进展型矫形器的使用逐渐得到重视,此类夹板与动力型或其他系列夹板的区别之一,就是患者可自控调节力量,提供大小较为理想的扭力,即获得最大可承受终末角度所产生的最小必需力量^[3]。有研究认为,在其他传统治疗无效且没有异位骨化形成时,应考虑使用静态进展型矫形器^[5]。

一项对大鼠愈合性瘢痕组织施加长期(每日6h,4周)张应力的研究认为^[18],当张力作用于3周的瘢痕时,瘢痕组织被显著拉长;当同样强度的张力作用于14周的瘢痕,瘢痕组织并没有被拉长。这说明瘢痕组织的形成受机械应力的影响,但随着时间的延长,瘢痕的可塑性也下降。有临床研究将持续低强度张应力与短时间高强度张应力对改善关节活动度的效果进行了对比,研究表明持续低强度张应力的作用效果明显优于短时间高强度。总之,静态进展型支具治疗关节挛缩增加关节活动度的原理是,将关节固定于或接近于关节活动范围的终末位置(end range position),在短缩的关节周围

结缔组织和肌肉上提供治疗性张力,经过一段时间,这些组织会产生重新塑形,其长度增加,关节活动度改善^[9]。

4 静态进展型支具的设计原则

治疗关节挛缩的矫形器有静力型、静态进展型和动力型三大类型。静态进展型支具,此类矫形器与静力型不同之处在于矫形器装配了绞链和附属调节装置,可随时调整矫形器的关节角度。在制作矫形器时,材料方面的选择要倾向于体积小、重量低,使患者容易接受,有较好的依从性,这样可延长总关节终末活动度时间(total end-range time, TERT),从而产生更好的治疗效果。同时也要考虑患者的经济承受能力及矫形器的易操作性。

矫形器的力学特性决定了治疗的效果,矫形器的目的是在挛缩软组织上施加最大的扭力,尽可能减少对关节的纵向压力。在矫形器的设计制作中要充分注意这一点。一项对静态进展型屈曲袖带和松紧螺旋扣矫形器的力学分析表明^[19],在屈曲角度 $<110^{\circ}$ 或患者产生疼痛时,松紧螺旋扣矫形器优于静态进展型屈曲袖带。Chinchalka等^[20]的数学分析表明,三点静态进展型矫形器在矫正肘关节最后屈曲角度时,要明显优于普通的静态进展型矫形器。此外,矫形器的设计也应考虑对肢体皮肤上施加的压力,特别是对肢体上有瘢痕的患者。这可通过在矫形器内加以气垫来均匀分散对肢体皮肤和瘢痕的压力。

5 静态进展型支具临床效果

自上世纪80年代起,动态夹板就出现在市场上,并且成为家用恢复活动范围的唯一选择。这种夹板基于蠕变及低负荷延长牵伸的原理,施加于组织上的力较为主观,并且装置必须要每天使用8—12h,持续4—6个月^[6],这对患者的依从性及皮肤的耐受性都会产生影响。而利用延软组织纵向牵拉的静态进展性牵伸及应力松弛对患者进行手法牵伸技术,在15—30min的治疗过程中可使挛缩组织达到塑性形变并使活动范围得到改善。静态进展性牵伸装置的设计及方案模拟了手法牵伸技术。根据在未受影响的关节组织上得到的反馈,患者可以控制施加的力。30min的治疗可以改善患者的依从性并将皮肤受损的风险降到最低,治疗时间也从以前的6个月减少到了平均8周^[21]。

Gelinas等^[22]在他们的文章中提到了螺旋扣式夹板,他们认为“动态的负荷太小,难以达到期望的软组织牵伸,在活动范围上得不到进展”。他们还提到“动态夹板施加了一个固定的力,这个力可以引起疼痛,可降低夹板使用的依从性”。由于组织的过度受压会损害软组织并导致炎症,这些都将延迟软组织重塑。在这篇文章中,22个患者中有10人提高 10° 活动范围,平均总活动范围为 32° 。这个治疗方案要求患

者每天使用支具20h,4—5个月,超过2800h。McGrath等^[23]对47名腕关节僵直的患者采用静态进展型支具进行治疗,每次1—3次,每次30—60min,治疗10周后,腕关节活动度平均增加 35° 。因此,在利用应力松弛及静态进展性牵伸作为治疗方案来治疗挛缩的肘及腕关节也是有效的。使用静态进展型支具进行每天2—3次每次30min的治疗方案较动态夹板及螺旋扣夹板来说具有更节省时间、患者易于接受及成本低的优点,如Sueoka等^[24]通过调查认为,在美国制作一个静态进展型支具所需要的平均时间仅为25 min,花费为25美元。

静态进展型矫形器有许多样式,如早期的屈曲袖带和松紧螺旋扣型等。以治疗肘关节僵直为例,Anil等^[25]通过对此2种静态进展型矫形器的生物力学分析发现,屈曲袖带对肘关节会产生较大的纵向压力,而引起肘关节疼痛。而松紧螺旋扣矫形器可以通过两侧的铰链分散对肘关节的压力,所以效果好,并发症少。McGrath等^[26]2009年报道采用静态进展型矫形器治疗38例前臂旋转挛缩患者,平均治疗时间12周,旋转活动范围增加了 42° 。随访12个月没有任何的并发症。Doornberg等^[8]使用静态进展型矫形器治疗了29例创伤后肘关节挛缩,关节活动度由治疗前的 70° 改善至治疗后 110° 。Gelinas等^[22]采用带有螺旋撑开器或其他可调节装置的踝足矫形器治疗外伤、脑损伤或中风后的足下垂畸形,也获得了较好的疗效。

使用静态进展型支具还应该遵循总关节终末活动度时间和调整矫形器的原则。矫形器治疗的基本目的是将牵张力作用于活动受限的关节及其周围组织^[13]。TERT是指每日将关节置于终末活动度的次数(频次)与持续时间的乘积。强度是指矫形器作用于关节的牵张力的强度,患者对疼痛的耐受性决定的了牵伸强度的大小。对于静力型矫形器,牵张力强度可通过调节矫形器角度来控制;对于动力型矫形器,牵张力强度可通过矫形器的弹性部件,如弹簧或橡胶带来调整^[27]。

由于组织的塑性形变是需经过长时间后发生的生理过程,因此治疗的关键因素是治疗频率及持续时间,而牵伸强度是相对次要的。急于增加牵伸强度,可造成组织损伤和炎症反应,继而加重纤维化。牵张造成组织损伤还与力量作用的速度、时间,以及组织的温度、初始机械状态有关^[28]。游离组织实验表明,当组织劳损超过2%时,将导致永久性的结缔组织损害。因此,静态进展型支具治疗初期牵张力强度设定不能过大,以患者能很好耐受、使用至少20min后无疼痛加剧感为宜。最初的治疗频度、持续时间根据患者的情况而定,McClure等^[29]建议治疗初期每日TERT为1h,可15min,每日4次,或30min,每日2次。TERT是静态进展型支具治疗关节挛缩的关键调节因素,如治疗一段时间后,患者关节活

动度改善不明显,应首先增加TERT。但最大TERT因人而异,有些患者因其他原因不能再增加TERT时,可调整增加牵张强度。

总之,对于进行其他物理治疗技术无效的患者来说,静态进展型支具恢复关节角度是有效的。大多数患者对此夹板感到满意并且无并发症发生,提高了患者的依从性,从而改善了受损关节的关节活动度,使患者的日常生活得到了改善,同样也可以避免再次手术的风险。矫形器治疗关节僵直与挛缩符合当今的治疗趋势,其本身也在不断完善中。

参考文献

- [1] Bielecki M, Wysocki M. The importance of rehabilitation after operative treatment of Dupuytren's disease[J]. *Wiad Lek*, 2011,64(1):26—30.
- [2] Doi K, Arakawa Y, Hattori Y, et al. Restoration of elbow flexion with functioning free muscle transfer in arthrogryposis: a report of two cases[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2011,93(18):e105.
- [3] 崔志刚, 刘克敏. 矫形器在创伤后肘关节功能障碍康复中的应用[J]. *中国康复理论与实践*, 2009,15(10):952—955.
- [4] Peter M, Bonutti Mike S, McGrath Slif D, et al. Static progressive stretch for the treatment of knee stiffness[J]. *The Knee*, 2008,15:272—276.
- [5] Sylvia A, Karen JJ. Managing the stiff elbow: Operative, Non-operative, and postoperative techniques[J]. *J Hand Ther*, 2006, 19:268—281.
- [6] Kitis A, Ozcan RH, Bagdatli D. Comparison of static and dynamic splinting regimens for extensor tendon repairs in zones V to VII[J]. *J Plast Surg Hand Surg*, 2012, 46(3—4): 267—271.
- [7] Gaspar PD, Willis FB. Adhesive capsulitis and dynamic splinting: a controlled, cohort study[J]. *BMC Musculoskeletal Disord*, 2009, 7(10):111.
- [8] Doornberg JN, Ring D, Jupiter JB. Static progressive splinting for posttraumatic elbow stiffness [J]. *J Orthop Trauma*, 2006,20(6):400—404.
- [9] Slimani L, Micol D, Amat J, et al. The worsening of tibialis anterior muscle atrophy during recovery post-immobilization correlates with enhanced connective tissue area, proteolysis, and apoptosis[J]. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2012, 303(11):E1335—347.
- [10] Verzin EJ, Andrews CT. Acute plastic deformation of the forearm in a skeletally mature patient treated with intramedullary fixation supplemented by circular frame external fixation[J]. *J Trauma*, 2009,67(5):E167—169.
- [11] Boccolari P, Tocco S. Alternative splinting approach for proximal interphalangeal joint flexion contractures: no-profile static-progressive splinting and cylinder splint combo [J]. *J Hand Ther*, 2009,22(3):288—293.
- [12] Lee SK, Gargano F, Hausman MR. Wrist arthrofibrosis[J]. *Hand Clin*, 2006,22(4):529—538.
- [13] Suksathien R, Suksathien YA. A new static progressive splint for treatment of knee and elbow flexion contractures[J]. *J Med Assoc Thai*, 2010,93(7):799—804.
- [14] Lucado AM, Li Z. Static progressive splinting to improve wrist stiffness after distal radius fracture: a prospective, case series study[J]. *Physiother Theory Pract*, 2009, 25(4): 297—309.
- [15] Bhat AK, Bhaskaranand K, Nair SG. Static progressive stretching using a turnbuckle orthosis for elbow stiffness: a prospective study[J]. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2010, 18(1):76—79.
- [16] Bonutti PM, McGrath MS, Ulrich SD, et al. Static progressive stretch for the treatment of knee stiffness[J]. *Knee*, 2008, 15(4):272—276.
- [17] Costa CR, McElroy MJ, Johnson AJ, et al. Use of a static progressive stretch orthosis to treat post-traumatic ankle stiffness[J]. *BMC Res Notes*, 2012, 5:348.
- [18] Green DP, Hotchkiss RN, Pederson WC, et al. *Green's Operative Hand Surgery* [M]. 5th ed. New York: Churchill-Livingstone, 2005. 667—682.
- [19] 王利群. 矫形器在关节挛缩疾患的应用[J]. *中国矫形外科杂志*, 2007,15(6):428—430.
- [20] Chinchalkar SJ, Pearce J, Athwal GS. Static progressive versus three-point elbow extension splinting: a mathematical analysis[J]. *J Hand Ther*, 2009, 22(1):37—42.
- [21] Bonutti P, Lee F, WHotz M. Restoring wrist flexion/extension using principles of stress relaxation/static progressive stretch[J]. *American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 2003, 2:830—833.
- [22] Gelinas JJ, Faber KJ, Patterson SD, et al. The effectiveness of turnbuckle splinting for elbow contracture [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2000, 82(1):74—78.
- [23] McGrath MS, Ulrich SD, Bonutti PM, et al. Evaluation of static progressive stretch for the treatment of wrist stiffness [J]. *J Hand Surg Am*, 2008, 33(9):1498—504.
- [24] Sueoka SS, Detemple K. Static-progressive splinting in under 25 minutes and 25 dollars[J]. *J Hand Ther*, 2011, 24(3): 280—286.
- [25] Bhat AK, Bhaskaranand K, Nair SG. Static progressive stretching using a turnbuckle orthosis for elbow stiffness: a prospective study[J]. *Journal of Orthopaedic Surgery*, 2010, 18(1):76—80.
- [26] McGrath MS, Ulrich SD, Bonutti PM, et al. Static progressive splinting for restoration of rotational motion of the forearm[J]. *Journal of Hand Therapy*, 2009, 22(1):3—8.
- [27] Figl M, Mayer M, Lederer S, et al. Extensor pollicis longus rupture after distal radius fracture: results of reconstruction by transposition of the extensor indicis tendon and postoperative dynamic splinting[J]. *Wien Klin Wochenschr*, 2011, 123(15—16):485—487.
- [28] Ulrich SD, Bonutti PM, Seyler TM, et al. Restoring range of motion via stress relaxation and static progressive stretch in posttraumatic elbow contractures[J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2010, 19(2):196—201.
- [29] Anneluuk LC, Lindenhovius Job N, Doornberg Kim M, et al. A prospective randomized controlled trial of dynamic versus static progressive elbow splinting for posttraumatic elbow stiffness[J]. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 2012, 94(8): 694—700.