

膝关节周围骨折围手术期康复研究进展

王梦媛¹ 周谋望^{2,3}

膝关节周围骨折(fractures around the knee)是骨科常见骨折,包括股骨远端骨折、胫骨平台骨折、髌骨骨折、腓骨小头骨折。随着近些年交通运输、旅游业、体育行业的快速发展,全民运动的普及,以及人口老龄化的加重导致骨质疏松发病率的增加,发生骨折的风险随之增加,因此,膝关节周围骨折发生率随之升高。芬兰的一项研究评估了1970—2006年间60岁以上人群,结果发现膝关节周围骨折发生率高达130例/100000人次,其中女性发生率更高,为94例/100000人次,男性为36例/100000人次^[1]。国内膝关节周围骨折的发生率,目前较难估计,但有文献表明膝关节周围骨折发生率正在增加^[2]。美国的一项流行病学研究数据表明,从1996—2006年股骨远端骨折发生率高达18例/100000人次,且没有下降的趋势^[3]。胫骨平台骨折大约占有骨折的1%,总体发病率为10.3例/100000人^[4]。髌骨骨折约占所有骨骼损伤的1%。膝关节周围骨折直接影响患者的下肢功能、日常生活能力、社会参与能力,给个人、社会带来经济损失。对于膝关节周围骨折患者,手术是最为主要的治疗方式。而膝关节周围骨折术后患者围手术期执行适宜的康复治疗模式被普遍认为是手术后患者尽早恢复下肢功能,减少术后并发症的有效办法。然而我国还普遍存在重手术、轻手术后康复的现象,手术后常常采取由骨科医师和护理人员向患者交待术后康复要点,患者在家中自行康复的康复治疗模式。随着社会的进步和经济的发展,人们对健康内涵有了新的认识和更高的追求,术后康复的观念逐渐被接受和采纳。越来越多的学者开始对术后康复进行多方面探究,试图得出更加规范化的术后康复治疗模式。

1 膝关节周围骨折手术治疗及效果

膝关节周围骨折的治疗方案包括石膏或支具固定、牵引治疗和手术治疗。相比起保守治疗,手术治疗更可能达到解剖复位、骨折断端固定更牢靠^[5],患者可早期开始行康复训练,减少肌肉萎缩、关节活动障碍等出现。手术方式、器械及内固定材料的进步,也为手术治疗效果提供了保证^[6]。

股骨远端骨折从前使用操作复杂,易发生骨折对位不良

的95°角钢板,到髌部支持钢板、髌动力加压钢板,发展至弹性髓内钉、带锁髓内钉。手术时间缩短,手术创伤较前减小,出血量减少,软组织剥离及骨膜剥离减少,尽可能达到生物学固定,具有促进骨折愈合、可早期行持续被动活动(continuous passive motion, CPM)等优点^[7]。胫骨平台骨折从前使用拉力螺钉到双钢板、解剖钢板发展到锁定钢板、微创内固定系统(less invasive stabilization system, LISS)。从广泛暴露切口发展至微创切口,从开放置入内固定到经皮小切口置入内固定,具有创伤小、成角稳定、固定牢固的优点^[8]。髌骨骨折由A0张力带钢丝固定,到经皮空心钉内固定,及可吸收张力带。具有内固定牢靠、骨折不易移位、生物相容性好的优点^[9]。

多项研究表明,大部分患者手术治疗效果理想,但仍有部分患者未能达到手术的预期效果^[10-11]。在国外的一项股骨骨折的研究中,手术后骨折愈合率达95.3%,并发症发生率低,断钉发生率(4.7%),感染、远端螺钉松动和双下肢肢体长度不等各2.3%发生率,93%的患者获得了良好的结果^[12]。在一项胫骨平台骨折手术的研究显示,术后膝关节功能及生存质量大部分达到满意的结局,以膝关节损伤和骨关节炎结果评分(knee injury and osteoarthritis outcome score, KOOS)和生存质量问卷欧洲五维健康指数量表(EuroQol five dimensions questionnaire five level, Eq5D-5L)为评价指标,手术治疗后解剖复位率82%,并发症发生率3.5%,患者生存质量满意^[13]。一项回顾性研究收集从2006年到2011年期间的188例开放复位内固定手术患者的人口统计学数据(年龄、性别、是否有并发症),受伤情况(其他损伤、骨折分型、开放或闭合性骨折),手术情况(手术方式和手术与骨折间隔)以及是否有术后并发症,骨不连,随访时间两年。结果发现,其中仅3例患者(1.6%)发生骨折不愈合,13例(6.9%)发生感染^[14]。良好的手术疗效能尽早提高患者的日常生活能力、社会参与能力,恢复膝关节功能,对于减少住院时间,降低住院费用,减少社会经济成本,都具有十分重要的意义。

2 膝关节周围骨折围手术期康复的意义

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.12.024

1 北京大学医学部,北京; 2 北京大学第三医院康复医学科; 3 通讯作者
作者简介:王梦媛,女,博士研究生; 收稿日期:2018-02-04

膝关节周围骨折术后容易发生下肢功能障碍,术后早期康复训练对减少肌肉萎缩、肌力下降、关节粘连、预防下肢静脉血栓形成、骨质疏松等并发症,促进骨折愈合及关节功能恢复,改善生存质量有益。研究表明,髓内钉固定术后患者易发生股四头肌萎缩和髌股关节不对称,进而增加髌骨软骨病理负荷。这从生物力学的角度解释了术后早期功能锻炼防止股四头肌萎缩的重要性。另外,膝关节周围骨折术后并发创伤性关节炎的发生率较高,早期康复训练帮助关节面塑形,从而减少其发生率。

研究表明围手术期康复治疗对患者的功能恢复及预后有益。接受早期康复训练的膝关节周围骨折患者比接受常规治疗的患者,其术后关节活动度、膝关节功能评分(keensociety score, KSS)、膝关节评分(Lysholm 评分),平衡功能、骨折愈合情况更好^[15]。接受围手术期康复治疗的膝关节周围骨折患者,更少出现下肢肌肉萎缩,关节活动度恢复满意,也能更早开始部分负重活动。围手术期康复治疗无疑是改善膝关节周围骨折术后患者预后,尽早恢复功能,重返家庭和工作的有效治疗策略。

3 膝关节周围骨折选择康复的时机

过去的康复模式认为应在关节周围受损组织愈合后再开始康复训练,因而开始康复的时间较晚,易出现关节僵硬、肌肉萎缩、骨质疏松等并发症。如今骨折术后早期开始康复治疗已成为众多研究者的共识^[16]。一般认为,康复治疗应该在术后,即骨折端稳定后就开始。骨折后1个月是康复治疗的最佳时间。一项随机对照研究共纳入80例膝关节周围骨折术后患者,对照组患者进行常规功能锻炼,实验组患者根据康复方案早期进行康复治疗,包括术后1—2天开始踝关节屈伸、股四头肌等长收缩练习、膝关节30°屈曲训练并逐渐增加角度,术后6—8天行屈膝关节及直腿抬高练习,术后3个月时,实验组膝关节活动度和Lysholm评分均明显优于对照组^[17]。

髌骨骨折的患者术后第1天即可开始进行踝泵练习,大腿前、后侧肌群肌肉(主要是股四头肌、腓绳肌)静力性收缩训练。术后第2天开始可扶拐下地行走,开始侧抬腿练习及后抬腿练习。术后第3天—6周开始使用持续被动活动,坐位垂腿训练、仰卧垂腿练习。术后6周开始坐位抱膝练习,直抬腿练习。术后3个月开始俯卧牵伸。胫骨平台骨折的患者术后第1天即可开始进行踝泵练习,大腿前、后侧肌群肌肉(主要是股四头肌、腓绳肌)静力性收缩训练。术后第1—7天开始直抬腿练习,侧抬腿练习,不负重下开始扶双拐行走。肌力练习、膝关节伸展练习、卧位/立位勾腿练习、抗组伸膝练习等需要在专业人员建议下开始。

4 膝关节周围骨折围手术期康复治疗

4.1 健康宣教与认知行为治疗

在术前对患者进行康复教育,向患者告知术前及术后的功能锻炼内容、缓解患者可能出现的紧张、焦虑等情绪。研究发现使用社会认知或学习理论原则可改善骨科或骨骼肌肉疾病患者的自我效能^[18]。一项纳入35个研究,共2956例患者的荟萃分析显示,接受了术前康复宣教的患者的膝关节功能、股四头肌力量明显改善^[19]。术后健康宣教与认知行为治疗,在改善患者功能、缓解情绪方面作用显著。

4.2 疼痛管理

疼痛是术后早期最受关注的问题之一,手术后的疼痛感影响患者术后的心理和躯体。一方面,患者心理上对于术后疼痛的恐惧降低了患者康复训练依从性。早期的康复训练,尤其是关节活动度训练后往往疼痛加重,致使患者抵触康复训练。严重时可能影响翻身、坐起等ADL能力。另一方面,术后早期疼痛显著影响了膝关节周围骨折患者功能锻炼,疼痛往往使肌力训练、关节活动度训练等内容难以顺利进行。因此,采取有效的止痛措施是必要的。研究表明,在膝关节周围骨折患者术前给予镇痛有良好临床效果。一项随机对照研究纳入了2015年5月到2016年3月共72例创伤性骨折患者,结果表明,术后给予疼痛控制可减少骨折愈合时间、缩短住院天数^[20]。另外一项共纳入50例膝关节术后患者的对照研究表明,给予合适的镇痛有助于增加术后康复训练依从性、膝关节活动度以及术后HSS评分,有利于膝关节术后功能的恢复,有重要临床应用价值^[21]。围手术期疼痛管理的方式有多种,以无痛为治疗目标。术后早期行功能训练,如关节活动度训练后,常出现局部组织肿胀、疼痛加重,因而在训练后应适时给予冰敷冷疗,每次冰敷20min。术后早期应及时给予有效镇痛治疗,及时进行疼痛的评估,并根据疼痛程度适时调整用药方案。研究表明,对膝关节周围骨折患者术前给予镇痛有良好效果。术前给予酮咯酸氨丁三醇联合持续性被动运动(continuous passive motion, CPM)治疗的患者相比于对照组,在术后膝关节被动屈曲和主动屈曲角度均有所改善^[22]。另外,物理因子治疗等也可作为缓解术后疼痛的辅助方式。

4.3 物理疗法

4.3.1 物理因子治疗:物理因子治疗可帮助消除膝关节局部组织肿胀、减轻膝周疼痛,促进骨折愈合,减少软组织粘连,改善关节活动度。低频调制中频电疗可明显减轻患者膝关节周围的疼痛,改善生存质量^[23-24]。神经肌肉电刺激(neuromuscular electrical stimulation, NMES)可作为辅助手段恢复股四头肌肌力,增加肌容积,采用干扰和经调制双相脉冲电流可刺激肌肉产生更大肌力^[25]。目前临床对膝关节周围骨折术后超声治疗的效果尚不确定。有研究认为超声治疗

可加速骨折愈合。一项纳入了包括1099例患者共12项试验中至高质量的证据表明,低强度脉冲超声(low-intensity pulsed ultrasound,LIPUS)治疗缩短了骨折愈合时间,提高了生存质量^[26]。也有研究显示超声治疗无显著效果,北美开展的一项随机临床试验结果表明,LIPUS治疗组与对照组相比在胫骨骨折患者术后的功能恢复和影像学骨折愈合时间无显著性差异^[27]。一项纳入了12项研究,涉及648例的荟萃分析报告了虽然不能排除超声及体外冲击波治疗成人急性骨折的潜在益处,但目前的证据也不足以支持其在临床常规使用^[28]。

4.3.2 运动治疗:运动治疗在膝关节周围骨折术后的康复治疗中占主要地位。运动治疗通过肌力训练、主动-被动运动、软组织牵伸、平衡训练等增强肌肉力量,保证关节活动范围,改善平衡。具体包括肌力训练,关节活动度训练,CPM等^[16]。患者早期进行康复治疗对患肢功能恢复有重要影响。一项共纳入47例的临床对照研究,对康复组的患者术后即进行股四头肌等长收缩训练,术后当天在给予疼痛控制下行膝关节持续被动运动,每天增加5°,术后第2周行膝关节不抗阻主动屈伸训练,第4周行抗阻运动,并根据具体情况逐渐增加阻力及关节活动度。对照组术后仅采取常规治疗。结果康复组术后6、12个月的膝关节HSS评分显著高于对照组^[29]。肌力训练主要是早期的股四头肌等长收缩训练,中期股四头肌、腘绳肌渐进性抗阻训练^[16,29]。CPM可增加膝关节内软骨营养,继而加速膝关节软骨与肌腱、韧带等软组织的修复,刺激高分化能力细胞转化为关节软骨,减小关节损伤,促进关节修复,减少疼痛,同时具有操作便捷的特点,容易被患者接受^[30]。

4.4 其他康复手段

随着科技发展和康复治疗技术、康复研究的进步,出现了一些新兴的康复治疗策略。一项前瞻性随机对照试验,探讨了将一种反重力跑步机用于治疗胫骨平台骨折术后或踝关节骨折患者,比较抗重力跑步机组与常规物理治疗组的膝关节损伤与骨关节炎评分(knee injury and osteoarthritis outcome score,KOOS)、关节活动度等,结果证实了抗重力跑步机的有效性^[32]。膝关节周围骨折患者术后常常由于疼痛、心理因素早期较难开始部分负重训练,导致肌肉萎缩、骨质疏松等风险升高,反重力跑步机作为一种新的康复方式可以帮助骨折术后患者更好的部分负重训练。

有临床研究发现,相比起常规康复训练,采用生动的图谱法锻炼对膝关节周围骨折患者术后疼痛缓解及膝关节功能转归均有积极影响^[33]。图谱法锻炼易于理解学习,可提高患者依从性,从治疗师及医生的角度而言易于推广,在探索更高效的康复治疗方式时该研究可作为一项证据。

Lee等^[34]研究了膝关节术后以虚拟现实(virtual reality,

VR)为基础的康复手段,研究认为基于虚拟现实的康复治疗是治疗膝关节术后患者的一种良好方式,并且疼痛评分高、日常生活能力障碍也是使用VR的适应症。该研究从技术角度为康复治疗提供新的思路,进一步的研究应该开展更大样本的临床研究证实其有效性和安全性,并且探索将虚拟现实与机器人相结合的手段,促进重复性任务的锻炼。

4.5 综合康复治疗

综合康复治疗包括运动疗法、术前康复宣教及认知行为治疗、物理因子治疗,不仅注重运动疗法早期主动功能锻炼与被动关节活动相结合,也将心理干预与物理治疗相结合,这提高了患者的依从性,是治疗膝关节周围骨折患者一种有效方案。综合康复治疗要求膝关节术后患者由包括物理治疗师,康复医师的治疗小组负责康复治疗,康复的关键是有保护的,渐进性的锻炼,以使骨骼愈合充分,同时促进心肺功能,肌肉力量和灵活性。多项研究表明,膝关节周围骨折后出现关节功能障碍的患者给予综合康复治疗干预后,患者膝关节功能评分及关节活动度均有明显改善^[23,35-37]。另有研究表明,接受术前康复宣教及早期主动-被动综合康复治疗的患者比接受一般康复治疗的患者在膝关节功能优良率和平均膝关节活动度方面均更好^[38]。

4.6 家庭康复与个体化康复

随着经济发展及社会进步,人们对于术后康复越来越重视。医疗资源有限以及患者长期住院的费用增加、住院时间的延长等问题使家庭康复的研究成为一种必然。而随着康复研究的深入,对于康复效果和治疗质量的要求增加和训练内容的细化,个体化康复也成为研究的一个重要方向。

国外研究表明,规范化家庭康复治疗效果良好。Papalia等^[39]采用科尔曼评分评估共18项研究,家庭康复和门诊指导下康复在总体取得的成果上并没有显著的差异。Sanford等^[40]开展了随机临床试验,结果表明一个多方式、个体化、基于家庭的作业疗法(occupational therapy,OT)/物理疗法(physical therapy,PT)干预可以提高运动功能障碍者的自我效能。有研究针对膝关节家庭康复设计了一种膝关节远程康复系统并进行评估,结果表明该康复系统适合远程监测膝关节功能,不过该系统目前仅对健康受试者进行测试,还需要进一步的临床实验评估^[41]。

5 患者的长期依从性

膝关节周围骨折患者术后康复的重要内容是出院后继续按照康复医生的要求完成自我锻炼如肌力训练、本体感觉训练等,以及适时的开始部分负重训练。但是,由于缺乏康复专业人员的监督指导、康复锻炼的时间较长等因素,患者出院后自行功能训练的依从性较差。出院前对患者进行有效的院外康复训练指导,可采用发放院外康复手册等方式;

加强监督,鼓励家属督促患者行功能锻炼,交代患者定期复诊,由康复专业人员定时检查。一项随机对照实验表明,院外康复训练指导的实验组比对照组依从性明显更高,术后3个月时膝关节功能显著优于对照组^[42]。

下肢骨折的患者常常被建议限制患肢的负重,目前的部分负重方法也可能导致下肢过度负荷。既往的研究显示,在康复过程中,患者对负重治疗的依从性有限。有观察性研究指出在部分负重训练时,患者不能准确地再现部分负重的指令^[43]。美国的一项研究评估了医院对住院患者负重训练的减重负荷的指导 and 患者依从性,结果发现出院时大多数患者的减重负荷少于规定的重量,而在出院后第一次随访时大多数的减重负荷大于规定的重量。这些数据表明,在遵守同一个临床目标的前提下,对规定的负重量进行统一和有效的教学是十分有必要的。Raaben等^[44]研究的下肢骨折后动态监测负重情况表明,无论是完全负重还是部分负重,患者的治疗依从性均较低,但实时视觉生物反馈可以增加下肢骨折患者治疗的依从性。另一项研究也表明,传统的训练方法不能精确有效地使患者遵守部分负重训练,触觉生物反馈更能提高负重训练依从性^[45-47]。Takacs等^[48-49]介绍了一种新的康复工具,它可以允许部分负重,同时防止过度负荷,初步结果表明,这项新技术可能是一种有用的康复工具。

6 康复治疗的不足及挑战

膝关节术后患者围手术期康复治疗已经被普遍认为是促进骨折术后关节功能恢复的有效方法,但是目前围手术期康复治疗仍然面临很多挑战。最重要的问题是,目前我国膝关节周围骨折患者,术后功能恢复及手术治疗效果与发达国家相比还有一定差距,其主要原因是骨科手术治疗与术后康复治疗存在分离脱节,康复专业人员不能早期介入术后患者的康复评定及康复治疗。其次,家庭康复是目前术后骨折康复的重要部分,已有研究对家庭康复的治疗效果尚有争议。患者依从性低,训练无法定量细化,未来的研究应着重于提高患者自我效能,增加依从性,制定合适规范的康复计划。另外,中频电疗法、神经肌肉电刺激、超声、体外冲击波治疗等物理因子疗法尚无太强的循证医学证据支持,需进一步临床研究加以验证。

7 小结

围手术期康复治疗促进功能康复,减少并发症,改善预后,多项研究证实其临床疗效显著,是膝关节周围骨折术后行之有效的治疗方法。膝关节术后应及时、尽早开展康复治疗,但是康复过程中还需要注意康复进度,不能一味追求快,要高效的、平稳的控制康复训练进展。运动疗法被认为是膝关节术后患者康复训练的重要内容,关节活动度训练、肌力

训练是最直接、有效的提高膝关节功能,防止关节粘连、僵硬、肌肉萎缩等出现的方法,早期开展主动-被动运动,结合主动功能锻炼及被动关节运动的方式能够使患者更加获益。家庭康复方案是膝关节术后患者康复治疗的选择之一,但需注意规范的康复方案的制定及确保患者对训练的执行。未来的研究应着重大型、多中心的针对膝关节骨折围手术期的规范化康复治疗模式效果的研究,比较不同康复方案的相对疗效以及探讨其社会经济学效益。

参考文献

- [1] Kannus P, Niemi S, Parkkari J, et al. Declining incidence of low-trauma knee fractures in elderly women: nationwide statistics in Finland between 1970 and 2006[J]. *Osteoporos Int*, 2009, 20(1): 43—46.
- [2] 王竞超 罗从风. 膝关节周围骨折诊治进展[J]. *国际骨科学杂志*, 2012, 4: 258—260.
- [3] Nieves JW, Bilezikian JB, Lane JM, et al. Fragility fractures of the hip and femur: incidence and patient characteristics [J]. *Osteoporos Int*, 2010, 21(3): 399—408.
- [4] Elsoe R, Larsen P, Nielsen NP, et al. Ostgaard. Population-Based Epidemiology of Tibial Plateau Fractures[J]. *Orthopedics*, 2015,38(9): e780—786.
- [5] Kakazu R, Archdeacon MT. Surgical Management of Patellar Fractures[J]. *Orthop Clin North Am*, 2016,47(1): 77—83.
- [6] Bartoniček J, Rammelt S. Early history of operative treatment of patellar fractures[J]. *International Orthopaedics*, 2015, 39(11): 2303—2308.
- [7] 张名硕,贺胜,邵明. 股骨远端骨折治疗进展[J]. *国际骨科学杂志*, 2012,33(5): 306—308.
- [8] 石岩,崔文岗,肖德明. 胫骨平台骨折手术治疗新进展[J]. *国际骨科学杂志*, 2013,34(3): 174—177.
- [9] 肖奕增,尤瑞金,周晓文. 关节镜下经皮微创张力带内固定治疗髌骨骨折[J]. *创伤外科杂志*, 2015, 5(5): 438—440.
- [10] Berney B, Nagin D. Public funding for worker education in occupational health and safety[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 1989, 572: 67-71; discussion 72—73.
- [11] Sayum Filho J, Lenza M, Teixeira de Carvalho R, et al. Interventions for treating fractures of the patella in adults[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015,(2): CD009651.
- [12] Greenberg A, Kadar A, Drexler M, et al. Functional outcomes after removal of hardware in patellar fracture: are we helping our patients?[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2018,138(3):325—330.
- [13] Elsoe R, Larsen P, Rasmussen S, et al. High degree of patient satisfaction after percutaneous treatment of lateral tibia plateau fractures[J]. *Dan Med J*, 2016,63(1): A5174.
- [14] Kadar A, Sherman H, Glazer Y, et al. Predictors for non-

- union, reoperation and infection after surgical fixation of patellar fracture[J]. *J Orthop Sci*, 2015, 20(1): 168—173.
- [15] 赵晓梅. 早期功能训练指导预防膝关节周围骨折术后膝关节僵硬的效果[J]. *中国继续医学教育*, 2016,8(22):209—210.
- [16] 唐金树. 骨折后康复的专家共识[J]. *中国医师协会康复医师分会骨科康复论坛*, 2013.
- [17] 王森. 膝关节周围骨折术后早期康复训练的临床分析[J]. *中国医药导报*, 2011:36.
- [18] Ghazi C, Nyland J, Whaley R, et al. Social cognitive or learning theory use to improve self-efficacy in musculoskeletal rehabilitation: A systematic review and meta-analysis [J]. *Physiother Theory Pract*, 2018,34(7):495—504.
- [19] R. Moyer, K. Ikert, K. Long, et al. The value of preoperative exercise and education for patients undergoing total hip and knee arthroplasty: A systematic review and meta-analysis[J]. *JBJS Rev*, 2017,5(12): e2.
- [20] 曹利芸. 分析疼痛控制护理对创伤性骨折患者术后康复的影响[J]. *医药前沿*, 2017,7(8).
- [21] 王春爱,赵振文,王承祥. 局部浸润罗哌卡因联合静脉镇痛对全膝关节置换术后镇痛及早期康复的影响[J]. *临床骨科杂志*, 2014,3: 274—276.
- [22] 张瑛,商月娥,杨新明. 超前镇痛在膝关节周围骨折术后病人护理中的应用[J]. *护理研究*, 2012,26(32):3032—3033.
- [23] 尹清,武继祥,刘宏亮,等. 综合康复治疗骨折后膝关节功能障碍的疗效分析[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2004, 26(5): 304—306.
- [24] 刘强,杨铭,吴澄. 调制中频电疗法对膝骨性关节炎患者疼痛及生存质量的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2013,28(5): 423—425.
- [25] Bellew JW, Beiswanger Z, Freeman E, et al. Interferential and burst-modulated biphasic pulsed currents yield greater muscular force than Russian current[J]. *Physiother Theory Pract*, 2012,28(5): 384—390.
- [26] Lou S, Lv H, Li Z, et al. The effects of low-intensity pulsed ultrasound on fresh fracture: A meta-analysis[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017,96(39): e8181.
- [27] Trust Investigators writing group, Busse JW, Bhandari M, et al. Re-evaluation of low intensity pulsed ultrasound in treatment of tibial fractures (TRUST): randomized clinical trial[J]. *BMJ*, 2016,355: i5351.
- [28] Griffin XL, Parsons N, Costa ML, et al. Ultrasound and shockwave therapy for acute fractures in adults[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2014,(6): CD008579.
- [29] 朱红军,杨卫新,李莉,等. 胫骨平台骨折术后早期康复治疗对患膝功能恢复的作用[J]. *中国康复医学杂志*, 2006,21(7): 634—635.
- [30] 王艳斌,侯斌. CPM在创伤骨科治疗中的应用[J]. *邯郸医学高等专科学校学报*, 2006,1: 70—71.
- [31] 赵勇,刘显东,王小兵. 不同屈膝角度的马步桩在髌骨骨折术后康复训练中的病例对照研究[J]. *中国骨伤*,2015,28(4): 327—329.
- [32] Henkelmann R, Schneider S, Muller D, et al. Outcome of patients after lower limb fracture with partial weight bearing postoperatively treated with or without anti-gravity treadmill(alter G(R)) during six weeks of rehabilitation- a protocol of a prospective randomized trial[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2017, 18(1): 104.
- [33] 谢凤云,罗银英,高巧虹,等. 图谱法康复锻炼对膝关节骨折患者术后膝关节功能恢复及疼痛的影响[J]. *临床护理杂志*, 2015, (1) :20—22.
- [34] Lee M, Suh D, Son J, et al. Patient perspectives on virtual reality-based rehabilitation after knee surgery: Importance of level of difficulty[J]. *J Rehabil Res Dev*, 2016, 53(2): 239—252.
- [35] 尹清,刘宏亮,武继祥,等. 综合康复治疗骨折后膝关节功能障碍的疗效分析[J]. *中国医师协会会员代表大会*,2005, 304—306.
- [36] 张英泽,冯和林,李增炎. 膝关节周围骨折术后综合康复训练的临床疗效[J]. *中国康复医学杂志*, 2006,21 (2): 154—155.
- [37] 姚雨,徐本明. 膝关节周围骨折术后治疗与康复的临床体会[J]. *中国医疗前沿*,2007, 2(14): 73—75.
- [38] 李肖媚. 膝关节周围骨折术后综合康复训练研究[J]. *吉林医学*,2013, 34 (27): 5561.
- [39] Papalia R, Vasta S, Tecame A, et al. Home-based vs supervised rehabilitation programs following knee surgery: a systematic review[J]. *Br Med Bull*, 2013, 108: 55—72.
- [40] Sanford JA, Griffiths PC, Richardson P, et al. The effects of in-home rehabilitation on task self-efficacy in mobility-impaired adults: A randomized clinical trial[J]. *J Am Geriatr Soc*, 2006, 54(11): 1641—1648.
- [41] R Nerino, L Contin, A Tirri, et al. An improved solution for knee rehabilitation at home[J]. *International Conference on Body Area Networks*, 2014: 62—68.
- [42] 黄金怀,彭新静,高竹英,等. 髌关节置换术后院外功能康复训练指导效果的研究[J]. *护士进修杂志*,2007, 22(9): 800—802.
- [43] Yu S, McDonald T, Jesudason C, et al. Orthopedic inpatients' ability to accurately reproduce partial weight bearing orders[J]. *Orthopedics*, 2014, 37(1): e10—18.
- [44] Raaben M, Holtslag HR, Leenen LPH, et al. Real-time visual biofeedback during weight bearing improves therapy compliance in patients following lower extremity fractures [J]. *Gait Posture*, 2018, 59: 206—210.
- [45] Hustedt JW, Blizzard DJ, Baumgaertner MR, et al. Current advances in training orthopaedic patients to comply with

partial weight-bearing instructions[J]. Yale J Biol Med, 2012, 85(1): 119—125.

[46] Hustedt JW, Blizzard DJ, Baumgaertner MR, et al. Is it possible to train patients to limit weight bearing on a lower extremity?[J]. Orthopedics, 2012, 35(1): e31—37.

[47] Fu MC, DeLuxe L, Buerba RA, et al. Haptic biofeedback for improving compliance with lower-extremity partial

weight bearing[J]. Orthopedics, 2014, 37(11): e993—998.

[48] Takacs J, Leiter JR, Peeler JD. Novel application of lower body positive-pressure in the rehabilitation of an individual with multiple lower extremity fractures[J]. J Rehabil Med, 2011, 43(7): 653—656.

[49] Melvin JS, Mehta S. Patellar fractures in adults[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2011, 19(4): 198—207.

·综述·

下肢外骨骼机器人控制策略研究进展

李根生¹ 佘国宁^{1,2} 徐 飞¹

外骨骼机器人的研究可以追溯到20世纪60年代,最初的研究目的主要是用于提高士兵的背负承载能力,随着机器人技术和生物检测技术的不断发展,外骨骼机器人的研究取得了飞跃性突破^[1]。基于不同作用对象,大致可以将其分为三类:增强健康人群自身机能的人类增强型外骨骼,如BLE-EX(Berkeley lower extremity exoskeleton)^[2];下肢运动能力受损患者康复治疗的步态康复型外骨骼,如ReWalk^[3];辅助残疾人或老年人站立或行走的辅助型外骨骼,如HAL(hybrid assistive leg)^[4]。

基于不同目的和作用对象,外骨骼机器人通过采用不同控制策略,并利用信息采集模块实时监测穿戴者运动信息及人机交互信息,以保证运动的正确性和穿戴者的适宜性。同时,通过对外骨骼进行精确控制可以有效避免对患者造成二次伤害,因此开展外骨骼机器人控制策略的研究具有重要的实际应用价值。

1 下肢外骨骼机器人控制策略

根据控制参数的不同,外骨骼控制类型可分为基于位置的控制、基于力信息的人机交互控制、基于生物电信号的人机交互控制和智能控制。

其中,基于位置的控制策略可分为轨迹跟踪控制、骨盆控制;基于力信息的人机交互控制策略可分为阻抗控制、力/

位混合控制、灵敏度放大控制、零力矩点控制、地面反作用力控制^[5];基于生物电信号的人机交互控制策略可分为肌电控制、脑电控制;智能控制策略分为模糊控制、神经网络控制。其特点和应用如表1所示。

1.1 基于位置的控制

基于位置的控制类型根据正常人体关节位移轨迹,规划外骨骼运动轨迹,其控制策略又可分为轨迹跟踪控制和骨盆控制。

1.1.1 轨迹跟踪控制策略是指外骨骼带动患肢沿预先规划的轨迹进行步态训练,其原理如图1所示。瑞士Lokomat^[6]康复机器人采用轨迹跟踪控制,预先设定期望运动轨迹,通过控制机器人的关节角度和角速度,实现患者的康复训练。意大利的卧式步态康复机器人^[7]通过规划特定轨迹的腿部运动,带动患者患肢在矢状面沿期望轨迹运动,以模拟人体步态运动。韩国庆熙大学研制的步态康复训练机在采用轨迹跟踪控制的基础上,在脚踏板上安装压力传感器实时监测患

图1 轨迹跟踪控制原理

