

• 修复重建外科 30 周年专辑 •

周围神经学组建设与学术进展



顾立强

中山大学附属第一医院骨科-显微外科医学部显微创伤手外科 (广州 510080)



顾立强：教授，主任医师，博士研究生导师，中山大学附属第一医院骨科-显微外科医学部主任、显微创伤手外科主任，骨科医师学院（COS）院长。现任中国康复医学会修复重建外科专业委员会副主任委员、周围神经学组组长，中华医学会显微外科学分会候任主任委员，中华医学会手外科学分会常务委员、臂丛及周围神经学组副组长，中华医学会骨科学分会外固定与肢体重建学组委员，《中华显微外科杂志》副主编，SICOT 骨显微外科分会委员、SICOT 中国部显微修复学分会主任委员。主持完成国家自然科学基金 3 项、国家卫生行业科研专项项目 1 项、省部级基金 6 项。获国家科技进步二等奖 1 项，中国产学研合作创新成果一等奖 1 项，省部级一等奖 2 项。主编专著 3 部。

【摘要】 中国康复医学会修复重建外科专业委员会周围神经学组成立于 1995 年，在老一辈专家带领下，周围神经损伤修复、再生、重建取得了重大研究进展。1986 年顾玉东教授首创了健侧 C₇ 神经移位术治疗臂丛根性撕脱伤，目前该术式临床应用已三十余年，安全、有效，近十年来也获得了改良、发展。除此以外，健侧 C₇ 移位治疗上肢痉挛、健侧 C₇ 椎体前移位修复全臂丛根性撕脱伤、脊髓损伤后膀胱功能重建、去细胞同种异体神经修复材料的研制与开发、小间隙套接缝合技术、股薄肌功能性移植重建、健侧 S₁ 神经根移位术，均已在临床推广应用，并取得良好疗效。随着周围神经修复材料的生物制造、臂丛损伤后中枢神经系统的重塑规律研究取得进展，神经科学的研究范围也得到进一步拓展。坚持周围神经显微修复、重建技术的普及与提高，努力使周围神经研究成果向临床转化，提高我国周围神经外科的学术水平，仍是周围神经外科医生与学者的艰巨任务。

【关键词】 周围神经；神经损伤；神经修复

Construction of Chinese peripheral nerve society and progress in repair and reconstruction of peripheral nerve injury

GU Liqiang

Division of Orthopedic Trauma, Hand and Microsurgery, Department of Orthopedics and Microsurgery, the First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou Guangdong, 510080, P.R.China

Corresponding author: GU Liqiang, Email: guliqiang1963@aliyun.com

【Abstract】 The peripheral nerve group of the reparative and reconstructive surgery committee (branch of Chinese association of rehabilitation medicine) was established in 1995. Major research progress has been made in the repair, regeneration, and reconstruction of peripheral nerve injury. Professor GU Yudong initiated the contralateral cervical 7 root (CC7) transfer for the treatment of total brachial plexus root injury in 1986. Now this method has been applied safely and effectively for 30 years with profound progress and refinement. In addition, the repair and reconstruction of peripheral nerve injury had achieved great development such as the treatment of spastic paralysis of upper limb, CC7 transfer using a modified pre-spinal route, the reconstruction of bladder function after spinal cord injury, the development of acellular allograft nerve, the small gap suture technique, the functioning free gracilis muscle transplantation, and contralateral S₁ transfer which have been widely used in clinical application with good outcomes. With the progress of the biological manufacturing of peripheral nerve bio-materials and the remodeling of central nervous system after brachial plexus injury, a novel peripheral neuroscience research field was growing up. It is still a challenge for surgeons and

scholars in this field to insist on the popularization and improvement of peripheral nerve repair and reconstruction by microsurgical technique, and to make efforts to transform the results of peripheral nerve research into clinical practice.

【Key words】 Peripheral nerve; nerve injury; nerve repair

周围神经学组作为中国康复医学会修复重建外科专业委员会最早成立的专业学组,从成立之初至今,倾注了老一辈周围神经外科专家的心血和付出,始终以推动我国周围神经外科事业为己任,致力于为全国周围神经外科从业医护人员建立高水平学术交流和推广平台,鼓励对周围神经领域各项难题的探索和挑战。在中国康复医学会修复重建外科专业委员会成立 30 周年之际,回顾周围神经学组建设、发展历程,总结近十年来周围神经损伤修复、再生、重建的学术进展,能更好地鞭策我们继续前行。

1 周围神经学组的建设

1995 年 11 月 8 日—12 日,在昆明召开的第 8 次中国修复重建外科学术会议期间,由国内多位专家倡议,经时任主任委员王伟教授的批准,成立了中国康复医学会修复重建外科专业委员会周围神经学组,由中山医科大学附属第一医院朱家恺教授担任首届组长,同济医科大学同济医院罗永湘教授任副组长。学组建立之初各项学术工作得到陈中伟院士、钟世镇院士、卢世璧院士、顾玉东院士及陈统一教授、杨志明教授、顾晓松教授等的大力扶持。1996 年 3 月 14 日—16 日在珠海、2004 年 4 月在上海中山医院召开专题研讨会。2004 年,由朱家恺教授、罗永湘教授、陈统一教授担任主编,组织国内 57 位周围神经外科领域专家和 5 位外籍华人专家,编写了《现代周围神经外科学》,该书于 2006 年出版,已成为我国周围神经外科领域的经典著作。

2009 年 6 月 19 日—21 日,在广州举行了周围神经学组第 2 届换届会议,并召开了首次创伤骨科周围神经损伤专题研讨会^[1]。第 2 届学组委员会共产生委员 105 人、青年委员 26 人、秘书 1 人,合计 132 人。中山大学附属第一医院顾立强教授为组长,北京大学人民医院姜保国教授、复旦大学华山医院陈亮教授、解放军总医院唐佩福教授、北京积水潭医院王树锋教授为副组长,朱家恺教授任名誉组长,顾玉东、卢世璧、钟世镇、侯春林、罗永湘、杨志明、陈统一等教授担任学组顾问;戚剑任学组秘书。学组换届后,定期召开专题研讨会,以推动我国周围神经外科事业的全面和深入发展,2010 年

7 月 2 日—4 日(广州)、2011 年 10 月 20 日—21 日(温州)、2012 年 11 月 23 日—24 日(北京)、2014 年 9 月 18 日—20 日(广州)先后召开全国性周围神经专题研讨会^[2]。其中,2014 年新增吉林大学中日联谊医院崔树森教授、温州医科大学附属第二医院高伟阳教授为学组副组长,同时新增委员和青年委员 7 人。崔树森教授牵头召开了第 1 届东北地区周围神经外科学术研讨会(2009 年 9 月 26 日,长春)。姜保国教授在浙江宁波(2010 年 5 月 27 日—28 日)、徐林教授在山东烟台(2011 年 6 月 24 日—26 日)分别举办了第 3、4 届全国周围神经学习班。

2016 年 8 月 18 日—21 日,在昆明召开的第 19 次中国修复重建外科学术会议期间,举行了周围神经学组第 3 届换届会议。会议推举中山大学附属第一医院顾立强教授为组长,复旦大学附属华山医院陈亮教授、北京积水潭医院王树锋教授、吉林大学中日联谊医院崔树森教授、新疆医科大学附属第一医院艾合买提江·玉素甫教授、第二军医大学长征医院陈爱民教授、解放军总医院张巍教授、北京大学人民医院张培训教授、南通大学神经再生重点实验室杨宇民教授为副组长;顾玉东、朱家恺、罗永湘、陈统一、顾晓松、姜保国、刘小林、唐佩福、徐建光、劳杰等教授为学组顾问。第 3 届学组委员会共产生委员 120 人、青年委员 27 人。秦本刚、杨建涛担任学组秘书。会议同期召开了第 3 届学组第 1 次周围神经专题研讨会。

2016 年 9 月 22 日—25 日,中山大学附属第一医院显微创伤手外科承办了 2016 中山医学周围神经论坛(主席:顾立强教授),刘小林、陈亮、王树锋、Hattorii(日本)、杨宇民、叶永玉等教授和杨建涛、郑灿镛博士分别就“周围神经缺损修复”作主题发言;庄垂庆(中国台湾)、Hattorii(日本)、Bhatia(印度)、柴益民、王洪刚等教授和秦本刚博士分别就“功能性肌肉移植在臂丛损伤和肢体严重损伤后功能重建中的应用”作主题发言,与 Doi(日本)、Kushima(日本)等世界级周围神经专家进行了深入的交流。

2016 年 11 月 13 日—14 日,王树锋、陈山林教授主办了 JST 国际周围神经损伤论坛第 1 季暨 2016 积水潭-圣路易斯华盛顿大学神经移位学习班。2017 年 4 月 15 日,陈亮教授在上海华山医院

主办了 2017 产瘫诊疗学习班。2017 年 10 月 14 日,王树锋、陈山林教授在山西太原主办了周围神经外科继续教育学习班(第 3 届积水潭周围神经学习班)。

2017 年 10 月 15 日,由北京积水潭医院和太原长城骨伤手外科医院协办的周围神经学组第 3 届第 2 次全国学术会议在太原召开(主席:王树锋、顾立强教授)。顾立强、王树锋、王涛、胡韶楠教授等分别介绍了各自在臂丛神经修复方面的经验,并围绕臂丛神经上干与上中干损伤临床表现的区别、治疗方法的选择、是否探查利用残留神经根等方面展开讨论;侯春林、陈爱民、肖传国、王树锋教授等分别就“腰骶丛神经损伤和排尿功能重建”介绍了各自的经验,尤其是肖传国教授详细介绍了肖氏反射弧技术,参会专家就脊髓反射弧的重建原理和效果、神经再生能否突破膀胱副交感神经神经节等方面展开深入讨论;会议还就非特异性胸廓出口综合征的诊断标准和手术效果、异体神经材料修复周围神经缺损的治疗进行交流、讨论。

2 周围神经学术进展

2.1 臂丛根性损伤的治疗

自 1986 年复旦大学华山医院顾玉东教授首创健侧 C₇ 神经移位术治疗臂丛根性撕脱伤(1989 年中文、1992 年英文发表),发现单纯切断健侧 C₇ 神经根部不会造成上肢运动与感觉功能永久性损害,但能为患侧神经的修复提供新的动力神经源。健侧 C₇ 神经移位术已历时 30 年,在国内外众多周围神经外科中心推广应用,被证明是一项安全、有效、符合伦理、具有原创性的临床治疗技术,在国内外产生了巨大影响。对于健侧 C₇ 神经移位的临床实践,一方面要规范、严谨,另一方面要继承、创新;同时,健侧 C₇ 神经移位也提出了一个神经生物学领域的科学问题,即健侧神经移位-脑可塑性-神经“再”支配,值得探索研究^[3-5]。

对于臂丛根性损伤的临床诊治,顾玉东院士(2011)提出了臂丛损伤的分型及其手术方案,将臂丛损伤分为 4 型,即上(中)干型、下(中)干型、全臂丛型、束支型,其中前 3 型为锁骨上臂丛损伤,而锁骨下臂丛损伤统称为束支型,并推荐了 22 种臂丛根性撕脱伤-多组神经移位手术方案,其中健侧 C₇ 神经根合并多组神经移位治疗全臂丛根性撕脱伤是主要推荐术式^[6]。顾玉东院士(2015)强调了臂丛损伤修复 6 条原则,包括损伤分型原则、损伤早期处理原则、损伤后手术处理原则、手术方式选

择原则、功能评定原则、全程康复治疗原则。其中手术方式依据术前临床诊断、肌电图及 MRI、CT、超声辅助检查结果综合决定:① 根性撕脱伤行神经移位术;② 神经根断裂伤行缝接修复术;③ 神经缺损大于直径 4 倍行神经移植术;④ 神经连续性存在、神经瘤小于直径 2 倍,术中神经干动作电位(NAP)存在,行神经粘连松解术;⑤ 病程超过 1 年的肌肉萎缩明显者行功能重建术^[7]。

北京积水潭医院王树锋教授团队于 2004 年开展了健侧 C₇ 神经椎体前移位(结合神经移植)修复全臂丛根性撕脱伤,之后又结合患侧肱骨短缩直接修复下干,缩短了神经再生距离,有利于屈指功能的有效恢复。此外,通过副神经移位修复肩胛上神经以恢复肩外展,选择发自下干的前臂内侧皮神经二次移位修复肌皮神经以恢复屈肘,膈神经移位修复下干后股以恢复伸肘、伸指,加上腕关节融合等手腕部矫形手术,以期重建手的拾物功能,取得了一定临床疗效^[8-11]。

中山大学附属第一医院顾立强教授团队改良了臂丛根性损伤的病理分型,细分为 6 型:① N 型,正常或 Sunderland I 度损伤;② I 型,连续性存在的神经根损伤(Sunderland II ~ IV 度);③ II 型,椎孔外神经根断裂伤,留有残根可用(II A 型)或不可用(II B 型);④ III 型,椎孔内神经根撕脱至椎孔外,可见撕出的神经节或相连的前后根;⑤ IV 型,椎孔内神经根撕脱合并椎孔外神经根损伤;⑥ V 型,椎孔内神经根撕脱,椎孔外神经根外观完全正常^[12]。对于成人臂丛根性损伤临床分型,在上臂丛损伤(A 型,55.5%)、下臂丛损伤(B 型,3.9%)、全臂丛损伤(C 型,40.6%)三大类基础上,可进一步细分为七小类,并制定了相应的治疗措施^[13-18]。其中对全臂丛根性撕脱伤 C I 型,应用健侧 C₇ 椎体前路移位直接修复下干(C₈、T₁)、膈神经移位修复肩胛上神经,联合功能性股薄肌移植(以副神经斜方肌支为缝接神经)重建屈肘、伸指伸拇功能术,第 3、4 肋间神经运动支移位修复桡神经肱三头肌长头肌支;或健侧 C₇ 椎体前路移位加“神桥”移植修复上干(C₅₋₆),或/和膈神经移位修复肩胛上神经,联合功能性股薄肌移植(以第 3、4 肋间神经运动支为缝接神经)重建屈指屈拇功能术,第 5 肋间神经运动支移位修复桡神经肱三头肌长头肌支;再结合腕手部矫形手术,初步重建了手持物功能^[19-23]。

复旦大学华山医院陈亮教授开展了对分娩性臂丛损伤(产瘫)的系列研究与临床实践,手术

3 000 多例；并在“找到失神经肌肉萎缩不可逆指标”和“阐明周围神经损伤后中枢神经系统的重塑规律”等方面作了积极探索^[24-25]。陈亮教授作为分册主编之一，受邀参编美国神经外科经典教科书《Youmans and Winn Neurological Surgery (7th edition)》“Techniques in Nerve Reconstruction and Repair”和“Nerve Transfers”两个章节。

2.2 周围神经损伤与缺损的修复

南通大学顾晓松院士团队与解放军总医院卢世璧院士团队等合作完成的研究成果“修复周围神经缺损的新技术及其应用”荣获 2012 年度国家技术发明二等奖，在组织工程与神经再生的基础研究方面，构建的人工组织工程神经移植成功修复大鼠、犬坐骨神经缺损，获中国发明专利，相关产品已进入临床试用，用于修复周围神经缺损，初步疗效观察效果良好；在中药促神经生长的研究过程中，研制开发的中药合剂——“神经生长液”，已获中国发明专利，并成功进行了技术转让，正在进入临床试用^[26-27]。

中山大学附属第一医院刘小林教授团队开展的“去细胞同种异体神经修复材料的研制与开发”研究，于 2012 年 5 月获国家Ⅲ类医疗器械产品注册证（“神桥”），属全球第二，拥有独立知识产权与行业标准，现已在临床推广应用，取得较好临床疗效，获 2015 年度中国产学研合作创新成果一等奖。目前正在联合多学科研究团队探索周围神经损伤性缺损修复材料的人工仿生与生物制造，旨在研发结构内环境上双重仿生的“神桥”二代，提出了“工程解剖学”与“工程生理学”概念，重点研究分析神经微结构特点与规律，可转化为提供生物 3D 打印的控制语言；研发了可应用于生物 3D 打印的“生物墨水”；研发了适合软组织的生物 3D 打印机械装备的关键技术；并主编出版《周围神经修复材料的生物制造与临床评估》^[28-30]。

北京大学人民医院姜保国教授团队开展的周围神经损伤和修复相关研究，依据周围神经选择性再生理论和神经再生放大理论，提出替代传统神经外膜缝合的小间隙套接缝合技术，逐步进行哺乳类及灵长类动物实验，均获得了可靠修复效果，证实了小间隙套接缝合替代传统神经外膜缝合方法的可行性。同时研制出具有自主知识产权的生物套管，使小间隙套接缝合技术有望成为周围神经损伤修复的新方法^[31-32]。

2.3 脊髓损伤后膀胱功能重建

1994 年华南理工大学肖传国教授首创皮肤反

射弧重建膀胱功能。1998 年第二军医大学长征医院侯春林教授首创腱反射弧重建膀胱功能，2000 年应用于临床。2003 年第二军医大学长海医院张少成教授在国内最早开展肋间神经移位重建膀胱功能。侯春林教授主编出版国内外第 1 部学术专著《脊髓损伤后膀胱功能重建》、《Functional Bladder Reconstruction Following Spinal Cord Injury via Neural Approaches》^[33]。

2.4 健侧颈神经移位术治疗上肢痉挛

复旦大学华山医院徐文东教授团队经十余年的潜心研究，极大扩展了健侧 C₇ 神经移位术适应证，成功地以神经交叉移位术治疗了上肢偏瘫患者。《健侧颈神经移位术治疗上肢痉挛的临床试验》(Trial of Contralateral Seventh Cervical Nerve Transfer for Spastic Arm Paralysis) 2017 年 12 月 21 日在线发表于《新英格兰医学杂志》(NEJM)，结果表明该手术显著提高了患肢功能，并降低了痉挛程度^[34]。这是在其导师顾玉东院士于 1986 年首创、1992 年首次报道的“健侧 C₇ 神经移位术治疗臂丛损伤”基础上进行的全新拓展，将其创新性地应用于中枢神经损伤后痉挛性偏瘫患者治疗中，是又一项中国原创性临床研究成果。美国西北大学医学院教授、国际手外科协会 (IFSSH) 秘书长 Daniel Nagle 认为这是一项是“非常有潜力的技术”。

2.5 腰骶神经移位重建下肢运动功能

2008 年，侯春林教授在国际上首次报道切断单一腰骶神经根对下肢运动功能无明显影响，为下肢神经移植提供了新的动力神经源。陈爱民教授首次实施健侧 S₁ 神经根移位术用于骶丛损伤后下肢功能重建^[35]。

3 周围神经损伤临床诊疗存在的问题与对策

周围神经损伤是临床多发伤病，其发病率为 100 万例/年^[36]。而周围神经损伤修复疗效，国外资料显示恢复优良率低于一半^[37]，伤残率高。在国内，周围神经损伤急诊病例分散在基层医院创伤外科、骨科等各个临床专科，合并骨折时周围神经损伤尤其是臂丛损伤易漏诊；基层医生尽管在手外急诊和显微血管修复方面的处理较为熟悉，但对周围神经理论方面的理解和实践操作上还有很多不足，甚至还无法高质量缝合损伤神经，形势严峻，亟待解决。

周围神经损伤，通常多见的是周围神经断裂伤，对于每条神经纤维来说，其损伤性质不同于—

般的组织(如骨、皮肤、血管)损伤,它属于细胞损伤范畴,即轴突的损伤实质上是神经细胞整体的一部分损伤,若是神经断裂损伤,即为组成该神经干所有神经纤维的神经元(神经细胞)均有细胞损伤,并导致神经解剖学连续性的中断、神经功能障碍。而周围神经成功再生要点包括:①损伤神经元胞体的存活;②近段轴突的芽生与延伸,并长入远端相同功能的神经内膜基底膜管内;③再生轴突与相应的末梢靶器官重建突触联系;④神经再支配的靶器官的复原;⑤神经元合成神经介质及相关酶类等一些特殊物质恢复神经的传导、轴突运输及对靶器官的支配作用;⑥中枢神经系统能理解、整合周围神经的信号。而临床外科医生干预周围神经损伤修复与再生的能力有限,仅限于修复的时机、损伤处的手术修复、康复再训练等方面,应抓住伤后1~3个月修复的“黄金时机”,坚持显微修复理念与技术,注重正常组织、无张力、神经束型与功能匹配性、基床与血运等基本原则。

中国康复医学会修复重建外科专业委员会周围神经学组,继续坚持周围神经显微修复、重建技术的普及与提高,加强周围神经损伤与再生的基础研究,努力使周围神经研究成果向临床转化,不断提高我国周围神经外科的学术水平。我们将一如既往地秉承老一辈周围神经专家的优良作风和传统,扎实工作、知难而进,不忘初心,砥砺前行!

参考文献

- 顾立强, 戚剑. 周围神经损伤临床问题讨论. 中华显微外科杂志, 2009, 32(6): 481-487.
- 顾立强, 戚剑. 创伤骨科周围神经损伤临床热点问题讨论. 中华显微外科杂志, 2010, 33(6): 476-480.
- 顾玉东, 张高孟, 陈德松, 等. 健侧颈神经根移位术治疗臂丛根性撕脱伤. 中华医学杂志, 1989, 69(10): 563-565.
- 顾玉东, 张高孟. 健侧颈神经根合并多组神经移位治疗臂丛神经根性撕脱伤. 中华显微外科杂志, 1991, 14(3): 129-132.
- Gu YD. Contralateral C₇ root transfer over the last 20 years in China. Chin Med J (Engl), 2007, 120(13): 1123-1126.
- 顾玉东. 臂丛神经损伤的分型与手术方案. 中华手外科杂志, 2011, 27(3): 131-133.
- 顾玉东. 臂丛神经损伤修复六条原则. 中华手外科杂志, 2015, 31(5): 321.
- Wang SF, Yiu HW, Li PC, et al. Contralateral C₇ nerve root transfer to neurotize the upper trunk via a modified prepsinal route in repair of brachial plexus avulsion injury. Microsurgery, 2012, 32(3): 183-188.
- Wang SF, Li PC, Xue YH, et al. Contralateral C₇ nerve transfer with direct coaptation to restore lower trunk function after traumatic brachial plexus avulsion. J Bone Joint Surg (Am), 2013, 95(9): 821-827.
- Li F, Wang SF, Li PC, et al. Restoration of active pick-up function in patients with total brachial plexus avulsion injuries. J Hand Surg (Eu Vol), 2018, 43(3): 269-274.
- Li WJ, Wang SF, Li PC, et al. Electrophysiological study of the dominant motor innervation to the extensor digitorum communis muscle and long head of triceps brachii at posterior divisions of brachial plexus. Microsurgery, 2011, 31(7): 535-538.
- Yang J, Qin B, Fu G, et al. Modified pathological classification of brachial plexus root injury and its MR imaging characteristics. J Reconstr Microsurg, 2014, 30(3): 171-178.
- 顾立强, 张德春, 向剑平, 等. 成人臂丛根性损伤临床分型的初步研究. 中华显微外科杂志, 2011, 34(6): 457-460.
- Li XM, Yang Y, Hou Y, et al. Diagnostic accuracy of three sensory tests for diagnosis of sensory disturbances. J Reconstr Microsurg, 2015, 31: 67-73.
- 顾立强, 向剑平, 李平, 等. 健侧颈7神经椎体前路移位直接修复臂丛根部撕脱伤. 中华显微外科杂志, 2008, 31(1): 33-34.
- Qin B, Fu G, Yang J, et al. Microanatomy of the separable length of the C₇. J Reconstr Microsurg, 2016, 32(2): 109-113.
- Li XM, Yang JT, Hou Y, et al. Donor-side morbidity after contralateral C-7 nerve transfer: results at a minimum of 6 months after surgery. J Neurosurg, 2016, 124(5): 1434-1441.
- Yang Y, Zou XJ, Fu G, et al. Neurotization of free gracilis with branch of brachial muscle to restore finger and thumb flexion in lower trunk brachial plexus lesions: anatomic study and case report. Clinics, 2016, 71(4): 193-198.
- 顾立强, 裴国献, 任高宏, 等. 早期股薄肌移植联合神经移位治疗全臂丛根性撕脱伤初步报告. 中华外科杂志, 2000, 38(6): 477.
- 顾立强, 向剑平, 秦本刚, 等. 健侧颈7椎体前路移位直接修复下干联合股薄肌移植治疗臂丛根部撕脱伤. 中华显微外科杂志, 2009, 32(6): 444-447.
- Hou Y, Qin B, Gu L, et al. Restoration of finger and thumb movement using one-stage free muscle transplantation. J Plast Surg Hand Surg, 2016, 50(3): 130-134.
- Yang Y, Yang JT, Fu G, et al. Functioning free gracilis transfer to reconstruct elbow flexion and quality of life in global brachial plexus injured patients. Sci Rep, 2016, 6: 22479.
- Hou Y, Yang JT, Yang Y, et al. Flow-through anastomosis using a T-shaped vascular pedicle for gracilis functioning free muscle transplantation in brachial plexus injury. Clinics, 2015, 70(8): 544-549.
- Zhang J, Chen L, Gu YD. Changes in expressions of major histocompatibility complex class I, paired-immunoglobulin-like receptor B, and cluster of differentiation 3ζ in motor cortical representations of the brachial plexus after avulsion in rats. World Neurosurg, 2017, 106: 211-218.
- Ma H, Zheng MX, Lu Y, et al. Cerebral plasticity after contralateral cervical nerve transfer in human by longitudinal PET evaluation. J Clin Neurosci, 2018, 48: 95-99.
- Gu X, Ding F, Williams DF. Neural tissue engineering options for peripheral nerve regeneration. Biomaterial, 2014, 35(24): 6143-6156.
- Yi S, Xu L, Gu X. Scaffolds for peripheral nerve repair and reconstruction. Exp Neurol, 2018. [Epub ahead of print]
- He B, Zhu Q, Chai Y, et al. Safety and efficacy evaluation of a human acellular nerve graft as a digital nerve scaffold: a prospective, multicentre controlled clinical trial. J Tissue Eng Regen Med, 2015, 9(3): 286-295.
- Zhu S, Liu J, Zheng C, et al. Analysis of human acellular nerve

- allograft reconstruction of 64 injured nerves in the hand and upper extremity: a 3 year follow-up study. *J Tissue Eng Regen Med*, 2017, 11(8): 2314-2322.
- 30 Yan L, Guo Y, Qi J, *et al*. Iodine and freeze-drying enhanced high-resolution MicroCT imaging for reconstructing 3D intraneural topography of human peripheral nerve fascicles. *J Neurosci Methods*, 2017, 287: 58-67.
- 31 Kou Y, Peng J, Wu Z, *et al*. Small gap sleeve bridging can improve the accuracy of peripheral nerve selective regeneration. *Artif Cells Nanomed Biotechnol*, 2013, 41(6): 402-407.
- 32 Zhang PX, Han N, Kou YH, *et al*. Peripheral nerve intersectional repair by bi-directional induction and systematic remodeling: biodegradable conduit tubulization from basic research to clinical application. *Artif Cells Nanomed Biotechnol*, 2017, 45(8): 1464-1466.
- 33 Lin HD, Hou CL. Transfer of normal S₁ nerve root to reinnervate atonic bladder due to conus medullaris injury. *Muscle Nerve*, 2013, 47(2): 241-245.
- 34 Zheng MX, Hua XY, Feng JT, *et al*. Trial of contralateral seventh cervical nerve transfer for spastic arm paralysis. *New Engl J Med*, 2018, 378(1): 22-34.
- 35 Li YC, Lin HD, Zhao L, *et al*. Unaffected contralateral S₁ transfer for the treatment of lumbosacral plexus avulsion. *Injury*, 2014, 45(6): 1015-1018.
- 36 Sachanandani NF, Pothula A, Tung TH. Nerve gaps. *Plast Reconstr Surg*, 2014, 133(2): 313-319.
- 37 Grinsell G, Keating CP. Peripheral nerve reconstruction after injury: a review of clinical and experimental therapies. *Biomed Res Int*, 2014, 2014: 698256.

收稿日期: 2018-07-03 修回日期: 2018-07-05

本文编辑: 刘丹