

集成 3D 解剖技术与阶梯原则修复技术在手指部分缺损修复重建中的效果比较

刘自立 方兴 韩威振 臧谋圣

(合肥市第二人民医院骨科,安徽 合肥 230011)

[摘要] **目的** 比较集成 3D 解剖技术与阶梯原则修复技术在手指部分缺损患者修复重建中的治疗效果。**方法** 选择 2013 年 3 月—2022 年 6 月于我院进行手指复合组织块/瓣修复术的患者 162 例,采用随机数字表法将患者分为对照组(80 例)和观察组(82 例)。对照组采用传统阶梯原则修复技术进行手术,观察组采用集成 3D 解剖技术进行手术,收集并比较两组患者的密歇根大学手概况问卷(MHQ)手功能评分、手功能优良比例及术后并发症发生比例。**结果** 观察组患者的 MHQ 手功能评分、手功能优良比例显著高于对照组,总并发症发生率显著低于对照组($t=5.345, \chi^2=11.470, 5.223, P<0.05$)。**结论** 集成 3D 解剖技术能显著改善手指部分缺损修复重建患者的手指功能,适宜作为显微外科的精准化治疗技术在临床推广使用。

[关键词] 精准医学;指损伤;解剖;修复外科手术;疗效比较研究

[中图分类号] R658.1

[文献标志码] A

Efficacy of integrated 3D anatomical technique versus step-based repair technique in the repair and reconstruction of partial finger defects

LIU Zili, FANG Xing, HAN Weizhen, ZANG Mousheng

(Department of Orthopaedics, The Second People's Hospital of Hefei, Hefei 230011, China)

[ABSTRACT] **Objective** To investigate the therapeutic efficacy of the integrated 3D anatomical technique versus the step-based repair technique in the repair and reconstruction of partial finger defects. **Methods** A total of 162 patients who underwent the repair of finger composite tissue blocks/flaps in our hospital from March 2013 to June 2022 were enrolled, and they were divided into control group with 80 patients and observation group with 82 patients using a random number table. The patients in the control group underwent surgery using the traditional step-based repair technique, while those in the observation group underwent surgery using the integrated 3D anatomical technique. The two groups were compared in terms of hand function scores based on Michigan Hand Questionnaire (MHQ), the proportion of patients with excellent or good hand functions, and the proportion of patients with postoperative complications. **Results** Compared with the control group, the observation group had significantly higher MHQ hand function scores, a significantly higher proportion of patients with excellent or good hand functions, and a significantly lower overall incidence rate of complications ($t=5.345, \chi^2=11.470, 5.223, P<0.05$). **Conclusion** The integrated 3D anatomical technique can significantly improve the finger function of patients undergoing the repair and reconstruction of partial finger defects, and it holds promise for further clinical application as a precise treatment technique in microsurgery.

[KEY WORDS] Precision medicine; Finger injuries; Dissection; Reconstructive surgical procedures; Comparative effectiveness research

在日常工作和生活中,手既是劳动工具,也是社交工具,手指伤残将长期影响患者的工作与生活,患者在长期困扰下亦可能产生心理障碍。尽管显微外科技术不断进步,手指部分缺损的复合组织修复与重建仍是骨科临床治疗的难题之一,其修复效果难以兼顾功能与外观的最佳恢复,且修复后致残率依旧较高^[1]。本研究团队遵循“相似修复相似”的原则,基于足趾-手指的解剖同源性,以及骨骼、血管、神经、肌腱、皮肤及附属甲床等结构的高度相似性,并结合显微技术标准化,构建一种集成 3D 解剖技

术^[2],实现足趾组织瓣的血管神经束与手指解剖精准匹配,为缺损修复提供了一种模块化解决方案,但是其临床疗效缺乏高质量证据支持。因此,本研究选择 2013 年 3 月—2022 年 6 月于合肥市第二人民医院骨科进行手指复合组织块/瓣修复术的 162 例患者,通过集成 3D 解剖技术与阶梯原则修复技术的治疗效果,验证其在手指部分缺损修复中的安全性与有效性,为该技术的应用与推广提供理论支撑。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选择 2013 年 3 月—2022 年 6 月于我院进行复合组织块/瓣修复术的手指严重损伤致复合组织缺损患者 162 例,采用随机数字表法将患者分为对照

[收稿日期] 2025-01-07; **[修订日期]** 2025-06-22

[基金项目] 合肥市重点科技项目[合科(2011)21 号 19,合科(2014)25 号 32]

[通信作者] 臧谋圣, Email:3079049602@qq.com

组(80 例)和观察组(82 例),对照组采用传统的阶梯原则修复技术对手指部分缺损进行修复重建,观察组则采用集成 3D 解剖技术修复重建。患者纳入标准:①手指甲床缺损 $\geq 1/3$,要求手术修复者;②无严重器官功能障碍,能耐受手术者;③第 1、2 足趾结构完整无畸形的移植组织块修复者;④对术后伤指外观要求较高者。排除标准:①患指功能障碍或残疾者;②依从性差者;③认知或精神异常者;④临床资料不全者。两组患者的基线资料无显著差异($P>0.05$)。见表 1。

表 1 两组患者基线资料比较

指标	对照组($n=80$)	观察组($n=82$)	t/χ^2	P
年龄(岁, $\bar{x}\pm s$)	34.64 $\pm$ 10.49	35.34 $\pm$ 10.42	0.429	0.669
性别[例($\chi/\%$)]			0.074	0.785
男	59(73.7)	62(75.6)		
女	21(26.3)	20(24.4)		
体质量指数(kg/m^2 , $\bar{x}\pm s$)	20.65 $\pm$ 2.49	20.98 $\pm$ 2.23	-0.874	0.383
手指损伤原因[例($\chi/\%$)]			1.246	0.742
机器绞伤	35(43.7)	37(45.1)		
挤压伤	22(27.5)	23(28.0)		
重物砸伤	18(22.5)	14(17.1)		
电刨伤	5(6.3)	8(9.8)		
缺损手指[例($\chi/\%$)]			7.938	0.094
拇指	21(26.2)	32(39.0)		
示指	24(30.0)	28(34.2)		
中指	17(21.2)	15(18.3)		
环指	13(16.3)	6(7.3)		
小指	5(6.3)	1(1.2)		

1.2 研究方法

1.2.1 手术方法 对照组采用传统阶梯原则修复技术^[3-5],裸视下进行诊断及伤情评估,凭个人经验施行移植修复。观察组采用集成 3D 解剖技术,分期分类进行足趾小组织瓣移植修复手指缺损,集成 3D 解剖技术的主要步骤为:①精确评估:在显微镜视野下清除失活组织的同时,评估受区动脉、静脉、神经等主要结构的存在与功能状态,并明确缺损组织结构、大小以及范围,将手指离断组织块分为 5 类^[6-7]。②供区选择:结合本课题组踝趾微观解剖学研究^[8],循证手指缺损移植的首选供区——踝趾和第 2 足趾及足背区域,进一步优选其中与受区对应的 5 种类型组织瓣^[6]。③技术要点:a.结构性设计:按供区微观解剖结构立体设计,踝趾为主要选择目标,以术者对其动脉血管微观分为 3 型^[8]的认知和把握程度,选择踝趾腓侧固有动脉为血管蒂更利于减少手术副损伤(图 1);其次以第 2 足趾为供区选

择,第 2 足趾胫侧趾固有动脉较恒定,故以胫侧趾固有动脉为血管蒂设计供区(图 2)。b.微创解剖:手术显微镜 10 倍放大下,以 15 号圆头刀、显微剪及显微镊等器械,施行有限清创并锐行解剖足趾组织瓣;特别要注意保护血管及伴行趾神经等微观组织,静脉解剖趾背/腹静脉,供区游离组织瓣蒂部长度 $\leq 2.0\text{ cm}$ 。c.超显微吻合:手术显微镜 25 倍放大下,以 10-0 尼龙线吻合指-趾动脉、静脉及神经等。

1.2.2 术后管理及随访 两组患者术后均行抗感染、抗痉挛、抗凝等治疗,严密观察皮瓣的血液循环。若受区出现动静脉血管危象,则通过及时换药、清除血痂、拆除部分缝合线、肌肉注射罂粟碱等方法处理,不能缓解时立即手术探查,必要时重新吻合。术后半年采用医疗 APP 延伸^[9]或门诊随访的方式,对患者进行每周 1~2 次的手指功能锻炼指导。

1.3 观察指标

记录并且比较两组患者在术后 1 个月之内的感染、血管危象、血栓及肢体肿胀等并发症发生情况。在术后半年随访时,根据密歇根大学手概况问卷(MHQ)^[10]针对患者的手功能进行评分,并且按照 Michigan 手功能评价法^[10]将患者的手功能评为优(4 分 $<$ 评分 ≤ 5 分)、良(3 分 $<$ 评分 ≤ 4 分)和差(评分 ≤ 3 分)三个等级,比较两组患者的 MHQ 手功能评分、手功能优良比例(手功能优良比例=各组手功能优良患者数/各组患者总数 $\times 100\%$)。

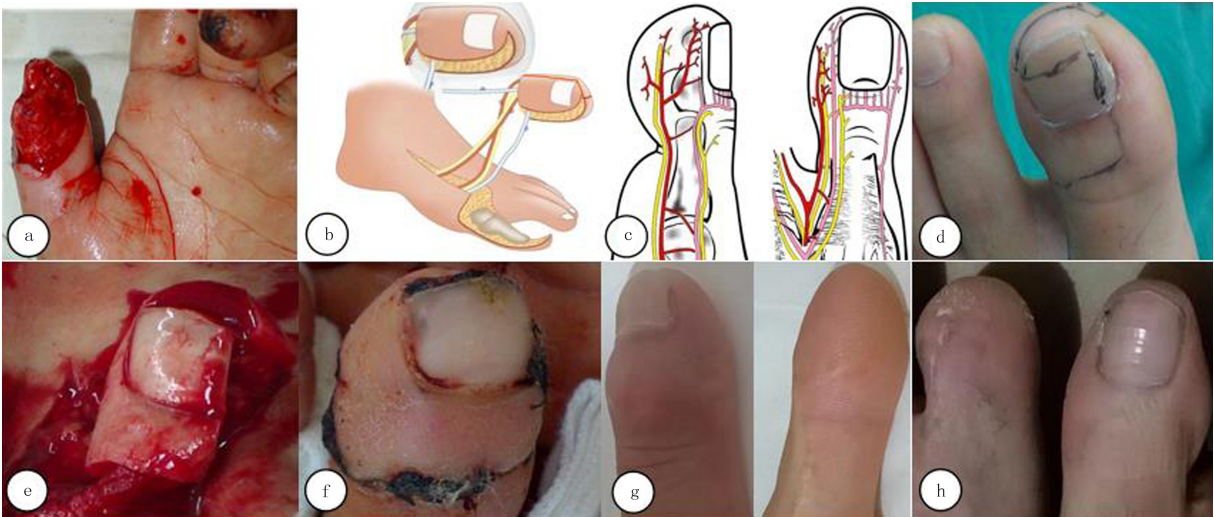
1.4 统计学处理

采用 SPSS 20.0 统计软件对数据进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间比较采用 t 检验;计数资料以例(率)表示,组间比较采用 χ^2 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 两组患者的 MHQ 手功能评分及手功能优良比例比较

对照组中采用“皮下蒂 V-Y 推进皮瓣”方式修复者 7 例,“指侧方皮瓣”方式修复者 34 例,“腹部直接远位皮瓣”方式修复者 11 例,“邻指背皮瓣”方式修复者 5 例,“足趾小组织瓣移植”方式修复者 23 例;观察组中踝甲瓣修复 42 例,重建末节指骨的踝甲瓣修复 8 例,踝趾腓侧皮瓣修复 21 例,踝趾腹皮瓣修复 7 例,第二趾末节甲床复合组织瓣修复 4 例。所有患者皮瓣均存活,随访时间为 6 个月~9 年,平均(37.58 $\pm$ 8.00)个月。对照组以及观察组 MHQ 手功能的评分分别为(3.65 $\pm$ 0.90)和(4.27 $\pm$ 0.53)分,



a:患者伤情评估;b:集成3D解剖技术优选复合踮甲瓣;c:供区解剖示意图;d:供区设计;e:精确供区解剖游离,f:移植术后2周受区恢复情况,g:术后6年受区恢复情况,h:术后6年供区情况

图1 踮甲瓣精准移植修复拇指末节软组织缺损



a:术前受区伤情;b:术前供区设计;c:术中供区情况;d,e:术后1周受区情况;f:术后2周受区情况;g,h:术后6年受区手指逼真恢复,指甲略弯曲

图2 第2趾末节段(趾甲)移植修复与重建右手食指端缺损

手功能优良比例分别为 81.3%和 97.6%，观察组患者的 MHQ 手功能评分及手功能优良比例均显著高于对照组($t=5.345, \chi^2=11.470, P<0.05$)。

2.2 两组患者的并发症发生比例比较

对照组发生感染、血管危象、血栓及肢体肿胀的比例分别为 1.3%、3.8%、1.3%和 7.5%，观察组发

生上述并发症的比例分别为 0、1.2%、0 和 2.4%，对照组和观察组总并发症发生比例分别为 13.8%和 3.7%。两组患者的感染、血管危象、血栓及肢体肿胀发生比例比较无显著差异($P>0.05$)，但对照组总并发症发生比例显著高于观察组($\chi^2=5.223, P<0.05$)。

3 讨论

手指组织缺损修复与重建一直是骨科领域临床诊疗的难题之一。1982 年 MATHES 提出了“修复重建阶梯”概念^[11],即根据肢体软组织创面情况和修复技术难易程度,将修复方法分为不同层级,由简单至复杂逐步递进选择,但该方案在创面修复的同时没有重视美学效果和功能修复。1994 年, GOTTLIEB 等^[12]提出了“修复重建电梯”理论,即不再局限于传统的阶梯式逐步选择修复方法,直接选择较为先进的修复技术,以获得最佳修复效果和肢体功能。近年来随着医学技术的进步,人们对手指组织缺损修复的美学和功能要求越来越高。传统修复方式主要依靠手术医师的个人经验决定选择何种手术修复方案,其治疗方式受不同手术医师主观影响较大。自 2006 年董家鸿院士在国际上率先提出了“精准肝切除”理念,并将之扩展推广为适用整个外科领域的“精准外科”范式^[13],外科领域已进入精准外科时代。当前在手外科领域,如何在诊疗过程中最大程度减少主观决策差异的干扰,探索更加规范且精准的个体化诊疗方式,同样是对精准外科理念的践行。本研究力求在术者技术能力有效保障的前提下,突破常规的阶梯式手指组织缺损修复流程,采用更先进、更复杂的修复技术,以实现更优的修复效果^[12];同时本研究采用了集成化、模块化的思维模式^[14],通过分解足趾组织瓣移植修复手指组织缺损中组织瓣移植的关键技术点,构建集成 3D 解剖技术,力求剔除仅依靠个人经验的手术决策及操作方法,实现手指组织缺损的精准修复与重建。

为验证集成 3D 解剖技术在手指部分缺损修复中的安全性与有效性,本研究从手功能评分、手功能优良比例及并发症发生比例等多维度对比了该技术与阶梯原则修复技术的疗效。传统的手部活动度、肌力、感觉和影像学结果等客观评价指标缺乏患者的主观自评,不能反映患者是否真正满意治疗与康复效果^[15-16],故本研究采用 MHQ 手功能评分,从手指功能、手日常生活活动能力、个体总工作表现情况、疼痛、外观及手功能满意度等方面对修复后的手功能进行评价,结果显示采用集成 3D 解剖技术进行手指组织缺损修复的患者手功能评分及优良比例均显著高于阶梯原则修复技术。这一差异源于集成 3D 解剖技术在机体组织适配性上的突破,即通过足趾-手指同源结构的立体匹配(神经、血管的直径误差 ≤ 0.5 mm)实现了神经血管束的精准对位,这与

PANGAL 等^[17]报道的神经外科数字化导航技术的血管、神经修复效果相当。CHAE 等^[18]的 Meta 分析指出,基于 3D 打印技术的精确术前设计可提高植入物的稳定性和生物相容性,减少并发症的发生,从而提高手术成功率,这种基于解剖同源性的设计能够实现“相似修复相似”的效果^[5,19],有效地避免了传统经验性修复中常见的血管扭曲以及神经错配问题。

本团队构建的集成 3D 解剖技术,建立了“评估-设计-实施”的标准化手术路径,成功将精准外科理念转化为可重复的临床方案,且无需昂贵设备支持,与达芬奇手术系统^[20]相比更具成本效益优势,更适合基层推广。尽管集成 3D 解剖技术能够取得良好的手术疗效,但本研究仍存在以下局限性:①本研究中未评估两种技术的微观血管动态灌注指标,无法判断集成 3D 解剖技术是否可提高移植后组织瓣活力并改善血运;②本研究未纳入组织工程等新型技术与集成 3D 解剖技术对比,后续应开展多中心多技术间的对比研究,以深化本研究结论。

综上所述,采用集成 3D 解剖技术进行手指部分缺损的复合组织修复与重建,实现了从经验诊疗到理性精准诊疗的迭代,避免了传统修复技术主观治疗决策的不确定性;患者伤指能够获得较好的功能恢复及逼真的外观重建,并最大限度地降低了手术并发症发生比例。因此集成 3D 解剖技术适合作为显微外科的精准化治疗技术在临床推广使用。

伦理批准和知情同意:本研究涉及的所有试验均已通过合肥市第二人民医院伦理委员会的审核批准(文件号 KY2016-032)。所有试验过程均遵照《人体医学研究的伦理准则》的条例进行。受试对象或其亲属已经签署知情同意书。

作者声明:刘自立、臧谋圣参与了研究设计;刘自立、方兴、韩威振参与了论文的写作和修改。所有作者均阅读并同意发表该论文,且均声明不存在利益冲突。

[参考文献]

- [1] 张锦玉,李碧光. 工业性手外伤流行病学特征及预防对策[J]. 解放军护理杂志, 2004, 21(7): 32-34.
- [2] 臧谋圣,刘自立,储建军,等. 基于微视足趾血管解剖的手指端甲床缺损精准移植修复技术及应用[J]. 中华手外科杂志, 2023, 39(6): 521-525.
- [3] LINEAWEAVER W C. Microsurgery and the reconstructive ladder[J]. Microsurgery, 2005, 25(3): 185-186.
- [4] KNOBLOCH K, VOGT P M. The reconstructive sequence in the 21st century. A reconstructive clockwork[J]. Chirurg, 2010, 81(5): 441-446.

- [8] PROVENCHER M T, MIDTGAARD K S, OWENS B D, et al. Diagnosis and management of traumatic anterior shoulder instability[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2021, 29(2):e51-e61.
- [9] DOMOS P, ASCIONE F, WALLACE A L. Arthroscopic Bankart repair with remplissage for non-engaging Hill-Sachs lesion in professional collision athletes[J]. Shoulder Elbow, 2019,11(1):17-25.
- [10] MORODER P, PLACHEL F, HUETTNER A, et al. The effect of scapula tilt and best-fit circle placement when measuring glenoid bone loss in shoulder instability patients[J]. Arthroscopy, 2018,34(2):398-404.
- [11] TANAKA M, HANAI H, KOTANI Y, et al. Open bristow versus open latarjet for anterior shoulder instability in rugby players: Radiological and clinical outcomes [J]. Orthop J Sports Med, 2022,10(5):23259671221095094.
- [12] ALI J, ALTINTAS B, PULATKAN A, et al. Open versus arthroscopic latarjet procedure for the treatment of chronic anterior glenohumeral instability with glenoid bone loss[J]. Arthroscopy, 2020,36(4):940-949.
- [13] BOEHM E, MINKUS M, MORODER P, et al. Massive graft resorption after iliac crest allograft reconstruction for glenoid bone loss in recurrent anterior shoulder instability[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2020,140(7):895-903.
- [14] ZHAO J Z, TANG J. Four-layer structural reconstruction for recurrent anterior shoulder dislocation[J]. Arthrosc Tech, 2020,9(12):e2031-e2040.
- [15] WU C L, XU J J, FANG Z Y, et al. Clinical and radiological outcomes in patients with anterior shoulder instability and glenoid bone loss after arthroscopic free bone block combined with dynamic anterior stabilization[J]. Am J Sports Med, 2023,51(1):187-197.
- [16] PARK I, LEE J H, HYUN H S, et al. Effects of bone incorporation after arthroscopic stabilization surgery for bony bankart lesion based on preoperative glenoid defect size[J]. Am J Sports Med, 2018,46(9):2177-2184.
- [17] DO W S, KIM J H, LIM J R, et al. Disagreement between the accepted best-fit circle method to calculate bone loss between injured and uninjured shoulders[J]. Am J Sports Med, 2023, 51(4):885-892.
- [18] GILAT R, WONG S E, LAVOIE-GAGNE O, et al. Outcomes are comparable using free bone block autografts versus allografts for the management of anterior shoulder instability with glenoid bone loss: A systematic review and meta-analysis of “The Non-Latarjet”[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2021, 29(7):2159-2174.
- [19] MORODER P, DAMM P, WIERER G, et al. Challenging the current concept of critical glenoid bone loss in shoulder instability: Does the size measurement really tell it all [J]. Am J Sports Med, 2019,47(3):688-694.
- [20] SUGAYA H, MORIISHI J, DOHI M, et al. Glenoid rim morphology in recurrent anterior glenohumeral instability[J]. J Bone Joint Surg Am, 2003,85(5):878-884.

(本文编辑 范睿心 厉建强)

(上接第 555 页)

- [5] KNOBLOCH K, VOGT P M. The reconstructive ladder in light of evidence-based medicine [J]. Plast Reconstr Surg, 2011,127(2):1017-1018.
- [6] 臧谋圣,刘自立,方兴,等. 一种精分 5 型诊断技术在指端损伤精准修复中的应用:38 例报告[J]. 中华显微外科杂志, 2023, 46(4):413-418.
- [7] 臧谋圣,王徽,王卓,等. 小组织块再植或移植修复与重建手指毁损伤的时机及疗效[J]. 中华手外科杂志, 2014,30(6):472-473.
- [8] 张浩,牛磊. 脚趾甲床营养血管解剖与临床应用[J]. 中国医药导报, 2019,16(1):94-97.
- [9] 营敏荣,陈春丽,许华,等. 医疗 APP 在断指再植患者延伸性康复护理中的应用及对再植指功能恢复和满意度的影响[J]. 临床与病理杂志, 2021,41(4):872-878.
- [10] CHUNG K C, PILLSBURY M S, WALTERS M R, et al. Reliability and validity testing of the Michigan hand outcomes questionnaire[J]. J Hand Surg Am, 1998,23(4):575-587.
- [11] GROSU-BULARDA A, HODEA F V, CRETU A, et al. Reconstructive paradigms: A problem-solving approach in complex tissue defects[J]. J Clin Med, 2024,13(6):1728.
- [12] GOTTLIEB L J, KRIEGER L M. From the reconstructive ladder to the reconstructive elevator[J]. Plast Reconstr Surg, 1994,93(7):1503-1504.
- [13] 董家鸿,张宁. 精准外科[J]. 中华外科杂志, 2015,53(5):321-323.
- [14] KNOBLOCH K, VOGT P M. The reconstructive clockwork of the twenty-first century: An extension of the concept of the reconstructive ladder and reconstructive elevator[J]. Plast Reconstr Surg, 126(4):220e-222e.
- [15] JOHNSON S P, CHUNG K C. Outcomes assessment after hand burns[J]. Hand Clin, 2017,33(2):389-397.
- [16] SERT G, YILDIZDAL S, GÜDELOĞLU A, et al. Robotic harvest of the free gracilis muscle flap[J]. J Plast Reconstr Aesthet Surg, 2024,90:323-325.
- [17] PANGAL D J, COTE D J, RUZEVICK J, et al. Robotic and robot-assisted skull base neurosurgery: Systematic review of current applications and future directions[J]. Neurosurg Focus, 2022,52(1):E15.
- [18] CHAE M P, CHUNG R D, SMITH J A, et al. The accuracy of clinical 3D printing in reconstructive surgery: Literature review and *in vivo* validation study[J]. Gland Surg, 2021,10(7):2293-2303.
- [19] 刘自立,孔祥安,冯瑛琦,等. 游离腓腓侧皮瓣修复手指指腹缺损[J]. 临床骨科杂志, 2022,25(1):65-67.
- [20] WALJEE J F, KIM H M, BURNS P B, et al. Development of a brief, 12-item version of the Michigan hand questionnaire [J]. Plast Reconstr Surg, 2011,128(1):208-220.

(本文编辑 范睿心 厉建强)