

文章编号:1004-7220(2018)03-0206-06

小夹板治疗桡骨远端关节内骨折的有限元分析

姜 昆¹, 陶宝琛², 魏成建³

(1. 航空总医院 中医正骨科, 罗有明名家研究室, 北京 100012; 2. 南京中医药大学 第一临床医学院, 南京 210023;
3. 南京中医药大学附属医院 骨伤科, 南京 210029)

摘要:目的 探讨小夹板固定治疗桡骨远端 C 型骨折的适用范围。方法 根据健康男性志愿者右前臂 CT 扫描数据, 建立正常桡骨远端三维模型。依据 AO 分型, 在正常模型基础上人为划分骨折线, 建立 9 种 C 型骨折前臂高阶四面体网格模型。在 ANSYS 15.0 软件中对 9 种骨折模型进行有限元分析, 得出相应的应力, 然后以等值线图的方式生成应力分布云图。结果 由于腕部软组织薄, 骨折块较多, 夹板固定后, 在 100 N 最大生理轴向载荷作用下, 腕部的应力与其他部位比较明显偏大, 压应力主要集中在桡腕关节处。C2.2、C2.3、C3.2、C3.3 型骨折由于粉碎性骨折造成的骨折块过多过小, 小夹板的骨折块固定效果较差; 而对于 C1.1、C1.2、C1.3、C2.1 及 C3.1 型骨折, 小夹板的固定效果较好。结论 通过对小夹板治疗桡骨远端 C 型骨折进行相关有限元研究, 初步确定了其适用范围, 可为临床工作提供一些参考。

关键词:小夹板; 桡骨远端骨折; 关节内骨折; 有限元分析

中图分类号: R 318.01 **文献标志码:** A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2018.03.003

Finite Element Analysis on Small Splint for the Treatment of Intra-Articular Fracture of Distal Radius

JIANG Kun¹, TAO Baochen², WEI Chengjian³

(1. Dr. Luo Youming's Research Lab, Department of TCM Orthopedics, Aviation General Hospital, Beijing 100012, China; 2. The First Clinical Medical College, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China; 3. Department of Orthopedics & Traumatology, Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210029, China)

Abstract: **Objective** To explore the application scope of small splint in the treatment of type-C distal radius fractures. **Methods** According to CT scan data from the right forearm of a healthy male volunteer, the three-dimensional model of normal distal radius was established. According to AO classification, the fracture line based on normal model was divided to establish nine kinds of high-order tetrahedral mesh models of the upper forearm with C-type fracture. Finite element analysis on nine kinds of fracture models was conducted in ANSYS 15.0 software to obtain the corresponding stress values, and then the stress distribution contours were generated. **Results** As soft tissues of the wrist were thin with more fracture blocks, after the splint was fixed, the stress on the wrist under 100 N maximum physiological axial load was significantly larger compared with that on the other parts, and the compressive stress was mainly concentrated on the wrist joint. The fixed effect of C2.2, C2.3, C3.2, C3.3-type fracture by small splint was relatively poor, as such comminuted fracture would cause too many and too small

收稿日期:2016-04-15; 修回日期:2016-06-08

基金项目:江苏省“六大人才高峰”项目 D 类(064)

通信作者:魏成建,主任医师,研究生导师, E-mail: drwcjtem@sina.com

fracture blocks, while the fixed effect of C1. 1, C1. 2, C1. 3, C2. 1 and C3. 1-type fracture was better. **Conclusions**

Through the related finite element study on the treatment of C-type fracture distal radius with small splint, the application scope of small splint was preliminarily determined, which could provide some reference for clinical work.

Key words: small splint; distal radius fracture; intra-articular fracture; finite element analysis

小夹板外固定是从患肢的生理功能出发,通过扎带加压产生对夹板的约束力,从而矫正骨折端畸形和移位,达到固定骨折端的作用^[1]。传统小夹板常用于四肢骨折闭合复位外固定,是中医治疗骨折的特色之一^[2]。小夹板是祖国医学的瑰宝,《肘后救卒方》中首次记载了用夹板固定治疗骨折的案例。小夹板外固定治疗桡骨远端骨折疗效确切,大量临床实践均有报道采用手法复位小夹板外固定治疗低能量桡骨远端骨折可取得满意的疗效^[3],不仅被国内同行及广大患者所接受,而且得到国际同行的认可^[4]。研究表明,手法复位夹板固定治疗桡骨远端骨折对于 AO 骨折分型中 A、B 型效果较为理想,但对于 C 型骨折而言,复位及固定效果并不是十分满意^[5]。大部分 C 型桡骨远端骨折,通过石膏或夹板等保守治疗很难达到满意的复位和有效的固定,常常需要手术治疗^[6]。熊学华等^[7]建议, A、B 型骨折首选闭合手法复位中医小夹板外固定;对于 C 型骨折,则行切开复位内固定。临床上常遇见 C 型桡骨远端骨折患者合并多种基础疾病的情况,因存在严重手术禁忌不得不采取保守治疗。而部分高龄患者对腕关节功能要求不高,且手术及麻醉存在一定风险,亦希望保守治疗。多数学者认为,夹板固定治疗 C 型桡骨远端骨折疗效欠佳,治疗效果不明朗。但李伟延^[8]通过回顾性研究发现,手法整复夹板外固定与切开复位内固定均可治疗老年人桡骨远端关节内骨折,但对于关节面塌陷在 3 mm 以上的患者,保守治疗的长期临床疗效优于手术治疗,且并发症发生率低于手术治疗。随着有限元技术的飞速发展及其在骨科领域的应用,应用有限元方法研究小夹板的使用范围已成为可能。本文阐述小夹板固定治疗 C 型桡骨远端骨折的具体情况,为今后临床工作提供一些参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

1.1.1 设备及软件 硬件:DELL T7600 工作站;

CPU:至强 E5-2670 双核(16 核 32 线程),2.6 GHz;显卡:丽台 Q2000 显卡(1 GB 显存);内存:32 GB DDR3;硬盘:2 TB。CT 设备:64 排 128 层螺旋 CT 机(Siemens 公司,德国)。软件设备:医学建模软件 Mimics 15.0(Materialise 公司,比利时);有限元软件 ANSYS 15.0(ANSYS 公司,美国);Imageware 13.0(Siemens PLM Software 公司,德国);Pro/E 5.0(PTC 公司,美国)。

1.1.2 模型来源 选择 1 名 27 岁健康男性志愿者,告知受试者实验目的及实验方法,签订知情同意书。

1.1.3 实验方法 志愿者右前臂在夹板外固定基础上行 CT 扫描(层厚 1 mm、层距 1 mm),获取 CT 扫描数据,然后以 DICOM 格式保存数据,将数据上传计算机中为后续建模提供数据来源。

1.2 实验方法

1.2.1 建立正常桡骨远端三维模型 利用软件 Mimics 15.0 导入 CT 扫描数据,依次经过图像预处理、阈值选择、区域增长、图像分割、平滑去噪等操作过程,初步建立桡骨远端的三角面片模型,然后将三角面片模型数据保存为 STL 格式文件。由于导出的数据为三角面片模型,存在着畸形、扭曲、表面过于粗糙等不良结构现象,利用 Imageware 13.0 软件可以对 Mimics 15.0 导出的数据进行三角面片细分、模型降噪、光顺化处理,并通过精确曲面等过程对其进行曲面化,最终形成三维实体模型。从 Imageware 13.0 导出格式为 .stp 的三维模型数据,以利于后续的处理以及有限元模型建立及分析。

1.2.2 网格划分 将完整的桡骨远端三维模型导入 ANSYS 15.0 软件中,通过 Workbench 的自动网格划分功能,可以对模型进行自由网格划分。ANSYS Workbench 能够自适应网格划分,生成形状、特性较好的元素,对于精度要求高的区域会自动调整网格密度,保证网格的高质量。采用 Solid 186 单元类型进行网格划分,尺桡骨干模型中共有 147 401 个单元、185 168 个节点。对前臂采用高阶四面体网格模型,各模型有限元网格模型如图 1 所示。

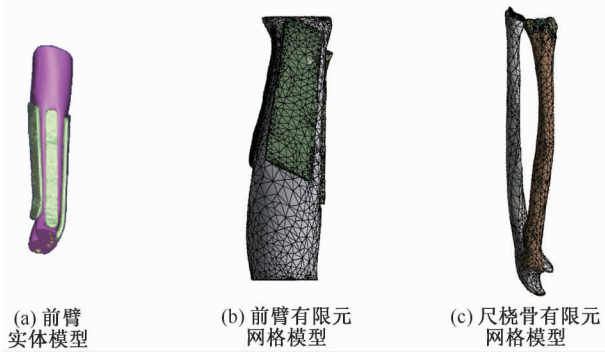


图1 夹板固定后前臂软组织及骨组织有限元模型

Fig. 1 The finite element model of forearm soft tissue and bone tissue after splint fixation (a) Solid model of the forearm, (b) Finite element mesh model of the forearm, (c) Finite element mesh model of the ulna and radius

1.2.3 模型组装 在正常模型基础上人为划分骨折线。对正常模型偏移一定厚度(0.5 mm),获得皮质骨与松质骨,参考AO分型^[9],对尺桡骨进行分块切割,获得AO分型骨折模型。从Imageware 13.0导出三维模型数据,格式为.stp,导入Pro/E 5.0中进行模型组装,对需要进行处理的部分或者特征进行操作,共得到9个C型骨折模型(见图2)。

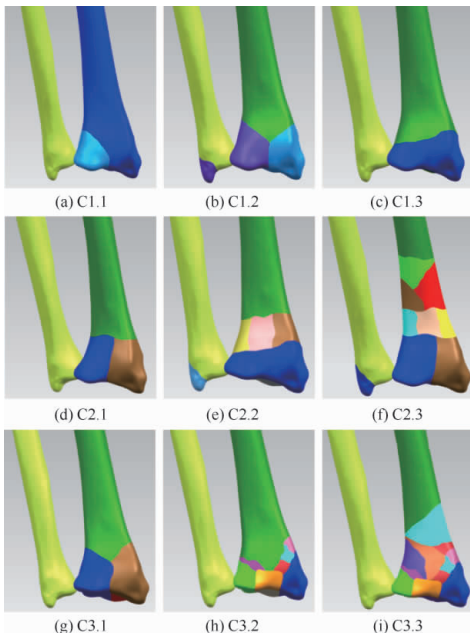


图2 桡骨远端AO分型C型骨折模型

Fig.2 AO type C3-fracture model of distal radius

2 实验过程

2.1 设定材料参数及属性

有限元模型的可靠性在很大程度上取决于所

赋予的材料参数,而可靠的材料参数是建立有限元模型的重要前提之一^[10]。表1所示为实验所需的模型材料参数^[11-12]。

表1 模型的材料属性

Tab.1 Material properties of the model

材料	ν	E/MPa
柳木夹板	0.30	6.25×10^7
软组织	0.49	1.00×10^5
皮质骨	0.30	1.34×10^4
松质骨	0.30	1.70×10^3
骨折线	0.35	5.00×10^{-2}

2.2 材料赋值

将.stp格式导入后,需要对模型进行材质属性赋值。桡骨近端为皮质骨,桡骨远端为松质骨,松质骨的最外层包绕皮质骨,设定各部分材料为各向同性、均质、弹性材料属性。

2.3 设定边界条件及载荷

桡骨和尺骨近端全自由度固定约束,即 X 、 Y 、 Z 3个方向的位移全部固定^[13],自由度均为0。以100 N最大生理轴向载荷向腕关节轴向加压,扎带松紧上下移动1 cm时骨折端稳定,此时扎带的压强需要27~28 kPa^[14]。在ANSYS 15.0中对9种骨折分型模型进行有限元分析,获得相应的压应力,然后以等值线图的方式生成应力分布云图。

3 实验结果

3.1 骨折应力情况

根据AO骨折分型,通过ANSYS软件结构计算方法分别计算出每种骨折分型下软组织及骨折端的压应力(见表2)以及应力分布情况。

表2 载荷条件下骨折端及软组织最大压应力

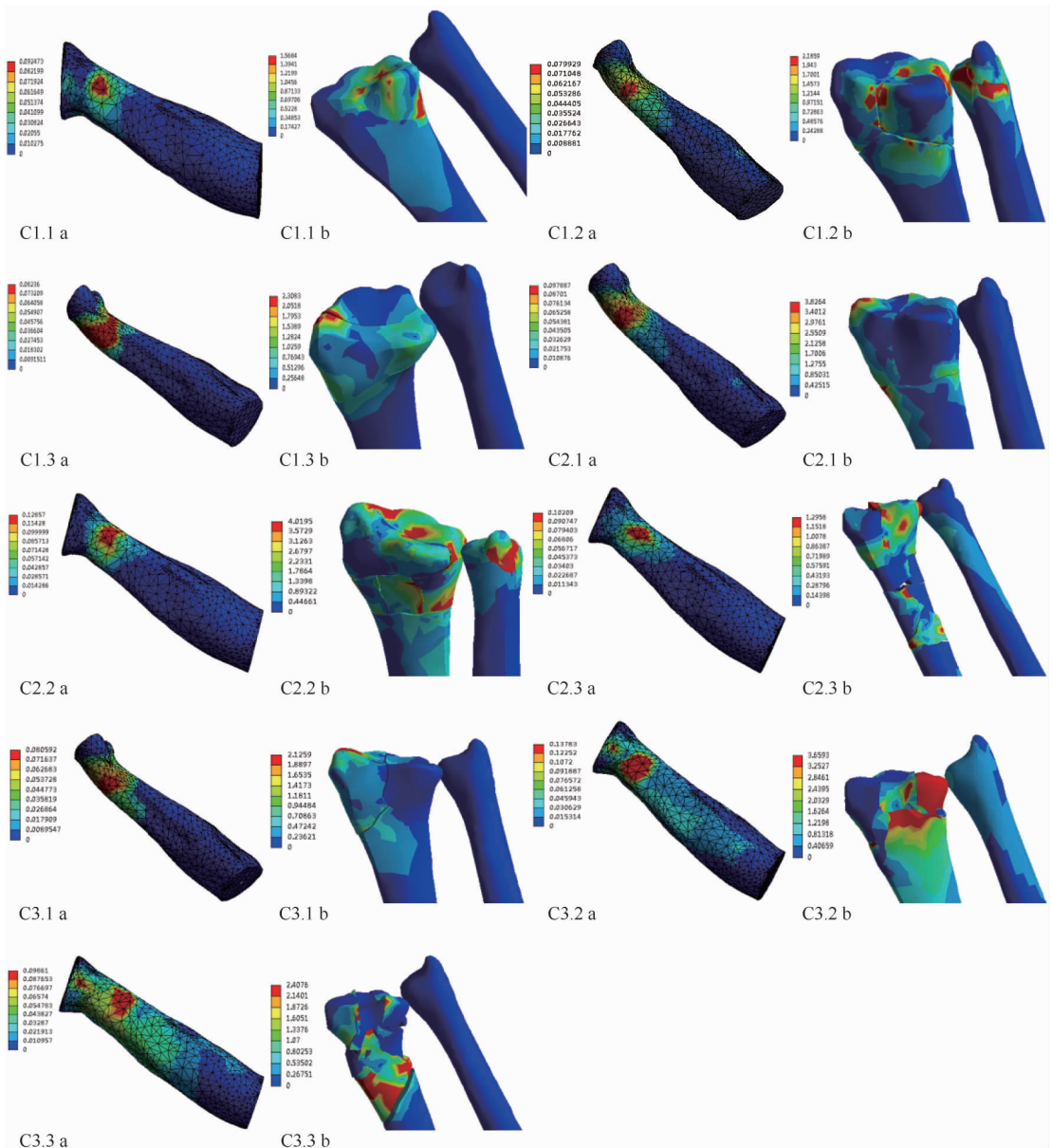
Tab.2 The maximum stress of fracture and soft tissues under load

骨折分型	最大软组织压应力/kPa	最大骨折缝压应力/MPa
C1.1	92.47	1.568 4
C1.2	79.92	2.185 9
C1.3	82.36	2.308 3
C2.1	97.88	3.826 4
C2.2	128.57	4.019 5
C2.3	102.09	1.295 8
C3.1	80.59	2.125 9
C3.2	137.83	3.659 3
C3.3	98.61	2.407 6

3.2 适用范围

图3所示为骨折断端及局部软组织应力云图。在100 N最大生理轴向载荷作用下,人体组织所受最大应力为4.019 5 MPa,这种水平的应力对人体组织是绝对安全的,不会出现皮肤压疮及筋膜间室综合症等并发症。由于腕部软组织较少,此处的应力与其他部位相比明显较大,主要集中于桡腕关节处,夹板固定部位应力以骨折断端为中心向四周逐

渐减小。但是C2.2、C2.3、C3.2、C3.3型骨折,由于骨折块过多过小,最大压力分布过于分散,患肢进行功能锻炼时,在现有载荷条件下,难以维持骨折的稳定性;而C1.1、C1.2、C1.3、C2.1及C3.1型骨折,骨折块较少,最大应力同样集中在骨折缝处,应力相对较集中,可以较好地维持骨折的稳定性。由此认为,骨折端应力集中性好,夹板固定稳定,骨折端固定效果好;反之,则固定效果较差。



a - 软组织受力云图, b - 骨组织受力云图

图3 桡骨远端C型骨折受力云图

Fig.3 Stress contour for C-type fracture of distal radius

C1.1、C1.2、C1.3、C2.1及C3.1型骨折粉碎程度较低,骨折端应力集中性好,故小夹板外固定可以用于治疗C1.1、C1.2、C1.3、C2.1、C3.1型桡骨远端骨折。

4 讨论

小夹板固定骨折的主要优势在于“动静结合”,即骨折的良好固定与肢体功能早期练习相结合^[15]。在骨折愈合过程中,允许骨折端之间有“微动”现象,骨折端之间适当的摩擦、挤压有利于骨折的愈合;若骨折端之间活动过大,超过一定范围的活动反而不利于骨折愈合。骨折端“微动”和应力是骨折愈合的最重要的原动力之一。实验证明,“微动”可以刺激骨痂形成,加速骨折愈合,而过大或过小的应力刺激均会导致骨折愈合减慢^[16]。一般认为,骨折端的压应力对骨折愈合有益;若骨折端产生剪应力,则对骨折愈合不利。因此,小夹板治疗桡骨远端骨折时需要良好的手法复位,尽量减少剪切应力对骨折愈合产生的不良影响;其次,需要恰当地掌握扎带的松紧。扎带过松,进行肢体功能锻炼时会出现夹板脱落、固定失效等现象;扎带过紧,则会出现压疮、筋膜间室综合症等情况。本文结果表明,在100 N轴向力的作用下,人体组织所受最大应力为4.019 5 MPa,这种水平的应力对人体组织绝对安全。但在骨折块较多、骨折粉碎较严重的情况下,患肢进行早期活动时很容易出现骨折再移位、骨折端应力刺激减小等情况,不利于骨折的愈合,此时就需要增加载荷以维持骨折端的稳定性。由于本研究为静力实验,未进行骨折端微动数据的分析,故不能全面反映骨折的愈合情况;其次,软组织及骨组织所能承受安全范围内最大载荷尚不明确,这均是下一步研究所需解决的问题。

有限元分析技术是在一个理想环境下构建出三维模型,其计算结果趋于理想化,在力学分析上没有甚至无法完全考虑客观的影响因素^[17]。本研究对模型材料属性赋值时,将各部分材料定义为各向同性、均质、弹性材料,存在与实际不一致的情况。此外,由于生物组织的复杂性和多样性,建模技术还存在诸多局限性^[18],目前尚不能建立十分精确的有限元模型。建立精确的模型要从解剖形状、加载条件等方面来综合考虑,故本文有限元分析结

果并不能直接说明小夹板治疗桡骨远端关节内骨折的效果。本文对桡骨远端C型骨折进行相关实验研究,可以为临床提供一定参考,尤其为基础疾病较多、不能耐受手术的高龄患者的保守治疗提供部分参考依据。但是本研究是在健康成人模型的基础上开展,人为划分了骨折线,而临床骨折的具体形式多样,仅选取代表性的骨折形式,与实际不符,故需进一步进行临床验证。

参考文献:

- [1] 董福慧,朱云龙. 中医正骨学[M]. 2版. 北京:人民卫生出版社, 2004: 26.
- [2] 魏建成,黄国淳,严培军,等. 小夹板在外固定架治疗骨折手术中的运用[J]. 现代中西医结合杂志, 2011, 20(16): 2019.
- [3] TRUMBLE TE, CULP SR, HANEL DP, *et al.* Instructional source lectures, the american academy of orthopaedic surgeons-intra-articular fractures of the distal aspect of the radius [J]. J Bone Joint Surg, 1998, 80(4): 582-600.
- [4] 张俐. 小夹板固定治疗骨折的发展概况[J]. 福建中医, 1991, 22(2): 53-54.
- [5] 周三保,林望得,王新杰,等. 手法复位小夹板固定治疗桡骨远端骨折临床观察[J]. 广州中医药大学学报, 2010, 27(3): 228-230.
- [6] 丁富军,龚景海,顾国明. 不同方法治疗桡骨远端C型骨折的疗效比较[J]. 临床骨科杂志, 2015, 18(1): 53-56.
- [7] 熊学华,许月莲,王克刚. 桡骨远端骨折不同治疗方法临床疗效比较[J]. 中国矫形外科杂志, 2007, 15(16): 1221-1223.
- [8] 李伟延. 手法整复夹板外固定与切开复位内固定治疗老年人桡骨远端C型骨折的临床疗效比较[D]. 济南:山东中医药大学硕士学位论文, 2013.
- [9] 王亦璠. 骨与关节损伤[M]. 4版. 北京:人民卫生出版社, 2007: 715-717.
- [10] 边蕾,胡海威,温建民,等. 足部相关肌肉、肌腱组织材料弹性模量的测定[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(12): 1919-1923.
- [11] 丁国正,徐宏光,王弘,等. 桡骨远端骨折锁定钢板固定的有限元分析[J]. 中国药物经济学, 2013(5): 233-235.
- [12] 张爱平,许书亮,周恩昌. 塑形夹板治疗尺桡骨双骨折的有限元分析[J]. 福建中医学院学报, 2013, 12(4): 25-27.
- [13] CARRIGAN SD, WHITESIDE RA, PICHORA DR, *et al.* Development of a three-dimensional finite element model for carpal load transmission in a static neutral posture [J]. Ann Biomed Eng, 2003, 31(6): 718-725.
- [14] 魏建成,王以进,张盼,等. 智能气囊小夹板治疗桡骨远端不稳定骨折的物力学研究[J]. 中华中医药杂志, 2015, 30

- (4): 1256-1258.
- [15] 魏成建. 新“动静结合”理论-小夹板外固定的新概念、新思想[J]. 辽宁中医药大学学报, 2010, 12(10): 45-46.
- [16] 李瑛. 小夹板弹性固定对骨折愈合过程的促进作用及其机理研究[D]. 武汉: 湖北中医学院博士学位论文, 2008.
- [17] 漆伟, 雷伟, 严亚波. 椎弓根螺钉长度变化对螺钉-骨复合体模型应力影响的三维有限元分析研究[J]. 医用生物力学, 2010, 25(3): 206-211.
- [18] 樊瑜波. 生物力学建模及应用的几个研究[J]. 医用生物力学, 2013, 24(S): 12-14.

· 致读者 ·

关于论著文稿中中、英文摘要的书写要求

文摘是以提供文献内容梗概为目的,不加评价和解释,简明确切地记述文献重要内容的短文。摘要应具有自明性和独立性,并拥有与一次文献同等量的主要信息。即不阅读全文就能获得必要的信息。它的详简程度取决于文献的内容,通常中文文摘以不超过 400 字为宜。应以第三人称的语气书写。不要使用“本人”、“作者”、“我们”等作为陈述的主语。

摘要的内容应包括四个要素,即目的、方法、结果、结论。(1)目的:指研究的前提和缘起,即为什么要作此项研究,可以有简单的背景材料。(2)方法:指研究所用的原理、对象、观察和实验的具体方法等。(3)结果:指研究的结果、效果、数据等,着重反映创新性的、切实可行的成果,包括本组研究中的重要数据。(4)结论:指对结果进行综合分析,逻辑推理得出的判断。有的可指出实用价值和推广价值;如有特殊例外的发现或难以解决的问题,可以提出留待今后深入探讨。英文摘要的内容与中文摘要的内容要求大体一致。

英文摘要要求做到语法正确,用词准确,与中文摘要对应,方法、结果可略详于中文摘要。

本刊编辑部