

[文章编号] 1000-1182(2009)05-0577-05

·学术讨论·

## 颅面骨生长发育及正畸治疗中的 3种骨调控机制及其概念

陈嵩 陈扬熙

(四川大学华西口腔医院 正畸科, 四川 成都 610041)

**[摘要]** 骨生长(bone growth)、骨塑建(bone modeling)和骨重建(bone remodeling)是出生后骨组织生长发育的3种调控机制。长期以来,在口腔正畸学领域中,由于一些历史原因,骨塑建与骨重建(或称骨改建)的概念被混淆,真正的骨重建机制却被忽略。本文从历史的角度回顾了在这个语义学错误在口腔正畸学领域产生的原因,进一步阐明了骨塑建与骨重建机制的区别,以及出生后颅面骨骼生长发育与正畸治疗中的骨调控机制。建议尽快在口腔正畸学领域宣传、推广正确使用骨塑建和骨重建这2个专业名词的中英文拼写,停止使用骨改建这一中文名词,以避免在与其他学科(如骨科学)或国内外同行交流时发生误解和交流障碍。

**[关键词]** 骨生长; 骨塑建; 骨重建

**[中图分类号]** R 783.5 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.3969/j.issn.1000-1182.2009.05.030

**The skeletal regulating mechanisms and concepts in growth and development of cranial-facial bones and orthodontic treatment** CHEN Song, CHEN Yang-xi. (Dept. of Orthodontics, West China College of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

**[Abstract]** There are three kinds of mechanisms regulating the growth and development of skeletal tissue: Bone growth, bone modeling and bone remodeling. However, in the current orthodontics literature, there continues to be substantial confusion regarding the usage of the term "bone remodeling". This article reviews the historical causes for this semantics problem and explains the difference between bone modeling and remodeling, as well as the detailed skeletal regulating mechanisms in the growth and development of cranial-facial bones and orthodontic treatment. At last, this article suggests Chinese orthodontists use the terms "bone modeling" and "bone remodeling" more precisely to avoid scientific confusion and barriers to scientific exchange with other biomedical disciplines.

**[Key words]** bone growth; bone modeling; bone remodeling

在胚胎早期,各个骨器官经软骨内成骨和膜内成骨逐渐骨化并发育成形后,骨组织主要通过3种调控机制继续完成骨的生长发育:骨生长(bone growth)、骨塑建(bone modeling)和骨重建(bone remodeling)。骨生长主要是指长骨的生长,包括纵向生长(增加骨的长度)和横向生长(增加骨的横截面积或直径);骨塑建主要指在功能负荷的影响下,形成、改变或维持骨组织的外部形状、大小及位置;骨重建主要指把骨生长和骨塑建过程中形成的网状骨转换为板层骨,使其具有相应的生物力学功能。在生长期中,骨组织通过这3种机制不断增加骨量,使其结构和力学强度足以承受随生长逐渐增

长的外力负荷。在成年后,骨重建成为唯一起主导作用的生物调控机制,通过自我更新来取代损伤或不适应机械效应的骨质及结构,以维持骨力学强度的完整性,并参与调节、维持体内钙、磷离子代谢的平衡<sup>[1-2]</sup>。出生后,颅面骨骼系统的生长发育也是通过以上3种调控机制来完成的。

### 1 颅面骨组织的骨生长

骨生长的机制是通过由软骨内成骨使长骨的长度增加,以及由成骨漂移(anabolic drift)使骨的直径加大,前者称为纵向生长而后者称为横向生长<sup>[1]</sup>。

在颅面骨骼中,只有颅底的生长是通过骨生长的机制来完成的,其机理与长骨的生长基本一致;唯一的区别是长骨的纵向生长由骨骺生长板通过软骨内成骨过程来完成,而颅底的纵向生长是由颅底软骨联合通过软骨内成骨的过程来完成。通过这一

[收稿日期] 2009-02-28; [修回日期] 2009-05-10

[作者简介] 陈嵩(1973—),男,贵州人,副教授,博士

[通讯作者] 陈嵩, Tel: 028-85501425

机制，颅底骨骼的长度得以增长，以适应大脑生长发育的功能需要。

随着颅底骨的不断延长，其横截面积也相应增大。这是由于随着脑组织容量增大而不断增加的外力负荷持续刺激骨外膜，使颅底骨表面上的成骨漂移维持在活动状态，不断地增厚皮质骨外层，从而使颅底骨的横截面积也随之增大<sup>[3]</sup>。

## 2 颅面骨组织的骨塑建

骨塑建是骨生长期中另一个促进骨骼增大的重要机制，包括成骨漂移和破骨漂移(catabolic drift) 2种骨生理过程。成骨漂移使得骨外表面沉积新骨，而破骨漂移则在骨内表面去除旧骨(图1<sup>[4]</sup>)。2种漂移分别在不同的骨表面进行，相互独立。通过2种漂移机制的高度协调运作，使得长骨的外径和内径不断增大，骨组织的特殊外形得以形成，松质骨和皮质骨逐渐向其受力轴心漂移(图1中箭头示)，以满足骨骼受力的需要。

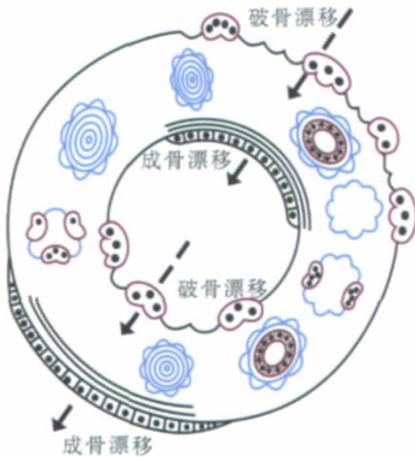


图 1 发生在长骨内、外表面的骨塑建以及长骨内部的骨重建示意图

Fig 1 Schematic diagram of bone modeling occurred in surfaces internal and external of long bone

在颅面骨组织生长发育的过程中，颅顶骨、上颌骨和下颌骨均通过骨塑建的机制来完成其体积的增大以及特殊外形的形成。

颅顶骨：在生长期中，颅骨骨缝的成骨作用使得颅骨的上下径及左右径增大；同时在颅骨的外表面不断形成新骨，而内表面则吸收旧骨，从而使颅腔的体积逐渐增大，以适应脑组织生长发育的需要<sup>[3]</sup>。

上颌骨：在上颌骨的生长发育过程中，由于颅底骨骼的生长，推动鼻上颌复合体向前下方移动，这一过程称为继发性骨移位(secondary displacement)。同时，在鼻上颌复合体周围的各个突起与颅骨连接的骨缝处，新骨不断形成(成骨漂

移)，使得鼻上颌复合体各个突起的长度不断增加，从而使得鼻上颌复合体相对于颅部整体向前下方移动，这一过程称为原发性骨移位(primary displacement)。在上颌结节的后表面，新骨也大量形成(成骨漂移)，使得上颌基骨长度增加，为乳、恒磨牙的相继萌出提供足够的支持。有意思的是，在鼻上颌复合体后缘新骨大量形成、整个鼻上颌复合体不断向前下移位的同时，在上颌骨前表面的绝大部分区域(前鼻嵴区域除外)，却发生着与其后表面截然相反的骨生理过程——骨吸收(破骨漂移)。这一现象的生理意义在于鼻上颌复合体体积不断增大、不断向前下移位的同时，维持其正常的生理凸度并形成上颌骨特殊的外形。随着鼻上颌复合体整体向前下移位，硬腭也被带动随之向下移位，但是同时在硬腭的鼻腔面旧骨不断吸收，口腔面新骨不断形成，从而使得硬腭更快地向下移位<sup>[3]</sup>。

下颌骨：对于生长期的下颌骨，骨塑建也是其最主要的生长机制。首先从髁突的生长方式来看，它属于软骨膜下生长(表面生长)，即通过软骨膜内层的未分化细胞层向软骨表面不断添加新的软骨细胞，产生基质和纤维，使软骨从表面向外扩大，继而矿化形成新骨，促进下颌骨在矢状向及垂直向的生长<sup>[5]</sup>。这种生长方式与骨膜下成骨基本一致，即也属于成骨漂移的过程。髁突向后上方向的持续生长使得下颌骨整体相对于颅底发生向前下方向的原发性移位。从下颌升支来看，在生长过程中，其前缘旧骨吸收(破骨漂移)，而后缘却形成新骨(成骨漂移)，二者协调作用的结果使得下颌体长度逐渐增大，为恒磨牙的萌出提供空间。在下颌体前份，由于颈部新骨沉积、牙槽突旧骨吸收，使得颈唇沟的外形逐渐形成。最后，从冠状面看，下颌体内表面的旧骨不断吸收，而在其外表面新骨不断沉积，使得下颌骨的宽度不断增加。

综上所述，在生长期中，颅骨、上颌骨和下颌骨的生长主要是通过骨塑建的机制来完成。然而，在浏览国内外口腔正畸学的专业文献甚至经典教科书的时候，经常有学者使用“bone remodeling”或“surface remodeling”(国内学者翻译为骨改建或表面改建)来描述上下颌骨生长发育过程中的旧骨吸收和新骨沉积，以及牙移动过程中牙槽骨的新骨形成和旧骨吸收。但是在骨科学及其他相关学科中，上述生理过程毫无疑问都属于骨塑建的范畴。而bone remodeling(多数骨科学或其他相关学科的中文参考书都将其译为“骨重建”<sup>[1-2]</sup>，本文也采用这个名词)这一专业术语在骨科学及其他相关学科中，却是用于描述另一种与正畸学文献中所指含义截然不同

的、且非常重要的骨生理机制。也就是说，长期以来，在正畸学领域中，骨塑建(bone modeling)与骨重建(bone remodeling)的概念被混淆了。目前国外已有正畸学专家意识到了这个在正畸学领域广泛存在的语义学错误，并开始努力纠正<sup>[6]</sup>。对于国内正畸学界来说，也应该开始纠正这一错误。

### 3 颅面骨组织的骨重建

骨重建是贯穿生命始终的一种骨生理现象，是骨组织赖以适应外界环境的主要生物调控机制。在生长期中，骨重建的主要功能是把骨生长和骨塑建过程中形成的网状骨转换为板层骨，使其具有相应的代谢和生物力学功能。成年后，骨重建的主要功

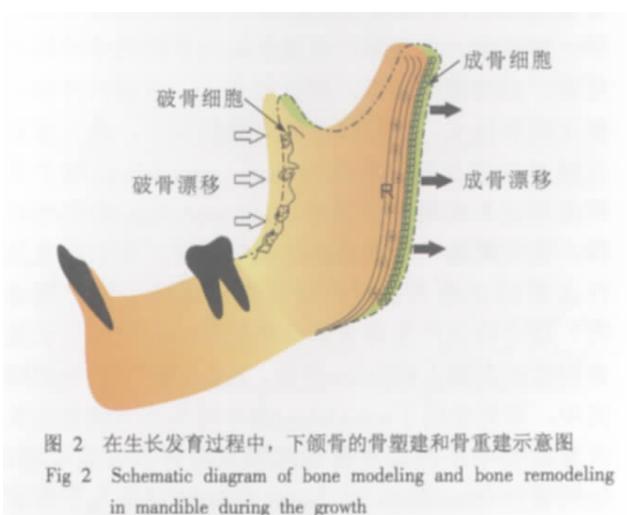
能是通过更新微损伤骨质来维持骨的力学功能完整性，并参与调节、维持体内钙、磷离子代谢的平衡。研究表明，通过骨重建，机体内的松质骨在4年内更换全部骨量，而皮质骨则需要20年来更换其全部骨量<sup>[1]</sup>。这种定期的自我更新现象又被称为骨转换(bone turnover)。与骨塑建不同，骨重建中破骨与成骨是高度偶联的过程，包括激活(cell activation)—骨吸收(resorption of a cavity)—骨形成(formation of new bone)过程，具体可分为静止期、激活期、骨吸收期、逆转期、骨形成期和恢复静止期等阶段。骨重建与骨塑建是2种完全不同的骨调控机制，具有完全不同的生理意义。二者的主要区别见表1<sup>[1]</sup>。

表 1 骨塑建与骨重建的区别

Tab 1 The differences of bone modeling and bone remodeling

项目	骨塑建	骨重建
破骨与成骨发生的位置	不同骨表面	同一骨表面
破骨与成骨是否偶联	高度协调但不偶联(激活—骨形成、激活—骨吸收)	高度偶联(激活—骨吸收—骨形成)
形式	连续	周期性循环
骨表面参与面积	大(>90%)	小(<20%)
矿化沉积率	快(2~10 $\mu\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ )	慢(0.3~1.0 $\mu\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ )
黏合线类型	平滑	扇贝样凹凸不平
骨量变化	增加	不变或减少
一生中发生的时期	生长期为主 成年后为局部发生	持续终身
适用的观测方法	常规X线片可观测到	只能在显微镜下观测到

在颅颌面骨组织的生长发育过程中，骨重建同样发挥着非常重要的生理作用。个体出生时，包括颅面骨组织在内的所有骨器官都具备了特定的形状与大小。由于在母体内无有效的功能负荷，刚出生时所有骨组织都是由网状骨组成的。在出生后的最初几年中，骨组织的功能负荷启动了骨重建过程，使包括颅面骨组织在内的所有骨组织中的网状骨都被板层骨取代，从而具有相应的代谢与力学功能<sup>[1]</sup>。在此后的骨生长期中，由骨生长和骨塑建过程而形成的颅颌面新骨(包括皮质骨和松质骨)，同样经过骨重建过程，使得骨质密度和骨量逐渐增加，骨组织的力学强度也相应增加，以适应功能负荷的需要。在生长发育过程中，下颌骨的骨塑建和骨重建示意图见图2。由图2可见，在生长发育过程中，下颌升支前缘发生破骨漂移、后缘发生成骨漂移(骨塑建)，从而使下颌体的长度逐渐增加；同时经过骨重建(图2中R所示)，新形成的网状骨转换为板层骨，骨质密度和骨量逐渐增加，下颌骨的力学强度也相应增加。



那么以上提到的语义学错误在口腔正畸学领域到底是怎么产生的呢？要回答这个问题，需要先回顾一下骨科学研究中的一些历史事件。

早在17世纪90年代，就有学者发现在发育成熟的皮质骨中存在一种生理性的自我更替机制。当时的初步假设是破骨细胞在成熟的皮质骨中吸收产生腔隙，然后由成骨细胞形成新的板层骨重新填满这

些腔隙。至于产生这种现象的原因或机制，由于当时条件所限，没能继续深入研究。1955年，Weinmann和Sicher<sup>[7]</sup>在他们编写的《Bone and bones》一书中，第一次尝试将骨塑建和骨重建这2个骨生理过程区别开来。他们采用了“modeling formation(塑建形成)”和“modeling resorption(塑建吸收)”这2个词分别描述发生在骨表面的新骨形成(即成骨漂移)和旧骨吸收(即破骨漂移)，并指出发生在骨表面的这2种生理过程对于骨的生长发育和功能适应至关重要。此外，他们还提到了在皮质骨内部存在另一种“internal reconstruction(内部重建)”的机制<sup>[7]</sup>，但是和他们那个时代的其他科学家一样，他们也没能意识到这一现象背后所隐藏的重要生理意义，没有继续深入探究这种生理现象发生的机制。

1961年，Frost等<sup>[8]</sup>在对骨生理学期长期研究的基础上，首次明确提出了“bone remodeling(骨重建)”这个极其重要的骨生理学概念。Frost指出，发生在骨表面的旧骨吸收和新骨形成与发生在骨内部的新、旧骨转换现象是2种完全不同的骨生理过程。为了表示对Weinmann和Sicher这2位学者以及他们的研究的尊重，Frost沿用了bone modeling和bone remodeling这2个专业术语，分别代表发生在骨表面的骨塑建机制和发生在骨内部的骨重建机制。

经过Frost及其遍布世界各地的其他实验室的众多学者的长期研究，骨重建机制及其生理意义已被阐明并得到了充分的证实<sup>[9-12]</sup>。他所提出的骨塑建和骨重建这2个专业名词及其概念也最终成为了骨科学、解剖学、生理学，以及生物力学研究中的标准用语。然而遗憾的是，到目前为止，在国内外的主要正畸学论文、著作以及经典教科书中，绝大多数正畸学者仍在使用骨改建(bone remodeling)这个名词来描述本应属于骨塑建(bone modeling)的生理过程，这无疑是一个明显的语义学错误。那么到底是什么原因让绝大多数正畸学者都混淆了这个概念呢？这个错误产生并长期存在的原因与颅面生长发育研究的前驱人物Enlow有关。Enlow等<sup>[13-14]</sup>在他的研究中，首先使用了remodeling这个词来描述颌骨生长发育过程中不同表面新骨沉积及旧骨吸收的过程，他的著作《Handbook of facial growth》更是几乎所有正畸医生都必须学习的有关颌面部生长发育的经典文献。因此继Enlow之后，几乎所有的正畸学者都继续沿用这个词来描述在骨生长发育过程中发生在颌骨表面的，以及正畸牙移动过程中发生在牙槽骨表面的bone modeling(骨塑建)。正是由于Enlow在最早使用这个词的时候没有注意到在包括骨科学在内的其他生命科学学科中，bone remodeling这个词已被

赋予了特定的含义，而且已经成为相关学科研究的标准用语，这才造成了长期以来正畸学家们混淆了骨塑建与骨重建这2个完全不同的概念。此外，由于这个错误，很多正畸学家忽视了在生长发育及正畸治疗中发生在颌骨内部的真正的bone remodeling(骨重建)过程。

#### 4 正畸治疗过程中的骨塑建与骨重建

在正畸矫形治疗中，颌骨表面通过骨塑建，在受到张应力的骨表面发生成骨漂移，同时在受到压应力的骨表面发生破骨漂移，从而使颌骨的大小、形状或位置得以改变。在正畸牙移动的过程中，牙槽骨的内、外表面同样通过骨塑建过程，在张应力侧发生成骨漂移，同时在压应力侧发生破骨漂移，并且与牙周膜一起协调运作，在牙移动的过程中维持所必需的牙周支持(图3<sup>[6]</sup>)。与骨组织的生长发育过程相似，正畸治疗过程中通过成骨漂移形成的颌骨或牙槽骨新骨，起初也为网状骨或混合骨，然后同样经过骨重建过程转换为板层骨，使新生骨组织的骨质密度和力学强度都得以相应增加，以适应咀嚼力等外力负荷的需要(图3<sup>[6]</sup>)。

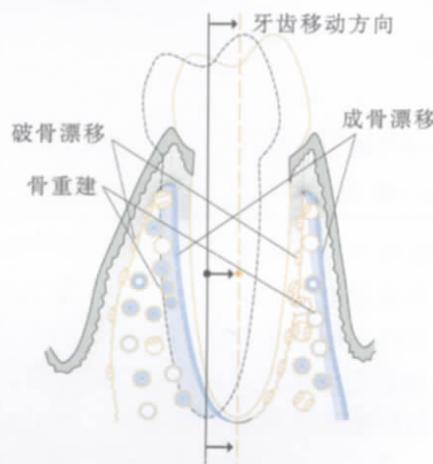


图 3 正畸牙移动过程中的骨塑建和骨重建示意图  
Fig 3 Schematic diagram of bone modeling and bone remodeling in orthodontic movement

综上所述，作为颅颌面生长发育及正畸治疗的基础知识，口腔科医生尤其是正畸科医生必须准确掌握骨塑建与骨重建这2个骨生理学上的基本定义及其具体生理过程的区别，才能避免在临床与科研工作中出现概念性的错误。同时，在撰写科研论文及对外交流的时候，必须正确使用相关的概念和中英文名词。因此笔者建议：应该尽快宣传在口腔正畸学领域中正确使用骨塑建和骨重建这2个专业名词的中英文拼写，并且停止使用骨改建这个中文名词，这样有利于与以前的错误概念相区别，并避免在与其他学科或国外同行交流时发生误解和交流障碍。

### [参考文献]

- [1] 邓红文, 刘耀中. 骨生物学前沿[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006 :18-31.  
DENG Hong-wen, LIU Yao-zhong. Frontline of orthopaedics - biology[M]. Beijing: High Education Press, 2006 :18-31.
- [2] 胡蕴玉. 现代骨科基础与临床[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2006 : 44-46.  
HU Yun-yu. Contemporary orthopaedics basic science and clinical practice [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2006 :44-46.
- [3] Proffit WR, Fields HW, Sarver DM. Contemporary orthodontics [M]. 4th ed. St. Louis: CV Mosby, 2007 :43-46.
- [4] Roberts WE, Garetto LP, DeCastro RA. Remodeling of devitalized bone threatens periosteal margin integrity of endosseous titanium implants with threaded or smooth surfaces: Indications for provisional loading and axially directed occlusion[J]. J Indiana Dent Assoc, 1989, 68(4) :19-24.
- [5] Robert JH, David SC. Regulation of growth in mandibular condylar cartilage[J]. Semin Orthod, 2005, 11(4) 209-218.
- [6] Roberts WE, Roberts JA, Epker BN, et al. Remodeling of mi-

- neralized tissues. Part 1: The Frost legacy[J]. Semin Orthod, 2006, 12(4) 216-237.
- [7] Weinmann JP, Sicher H. Bone and bones[M]. 2nd ed. St. Louis: CV Mosby, 1955 :508.
- [8] Frost HM, Villanueva AR, Roth H, et al. Tetracycline bone labeling[J]. J New Drugs, 1961, 1 206-216.
- [9] Frost HM. Tetracycline-based histological analysis of bone remodeling[J]. Calcif Tissue Res, 1969, 3(3) 211-237.
- [10] Frost HM. Bone "mass" and the "mechanostat": A proposal[J]. Anat Rec, 1987, 219(1) :1-9.
- [11] Frost HM. Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 1. Redefining Wolff's law: The bone modeling problem[J]. Anat Rec, 1990, 226(4) :403-413.
- [12] Frost HM. Some ABC's of skeletal pathophysiology. 6. The growth/modeling/remodeling distinction [J]. Calcif Tissue Int, 1991, 49 (5) 301-302.
- [13] Enlow DH. A study of the post-natal growth and remodeling of bone[J]. Am J Anat, 1962, 110 :79-101.
- [14] Enlow DH, Bang S. Growth and remodeling of the human maxilla[J]. Am J Orthod, 1965, 51 :446-464.

(本文编辑 吴爱华)

(上接第 571 页)

口腔卫生行为与口腔保健知识的知晓情况有关。本次调查显示, 3个民族12岁儿童对11个口腔保健知识点的知晓率中, 有5个知识点的知晓率在60%以上, 4个知识点的知晓率在30%以上, 2个知识点的知晓率低于30%。其中64.73%的儿童认为“吃糖致龋”是正确的, 其正确率低于国内其他报道<sup>[4]</sup>。85.49%的儿童没有听说过含氟牙膏。这提示今后在这3个少数民族地区要加强口腔健康教育工作, 增加儿童的口腔健康知识。

本次调查还显示, 尽管东乡族和保安族不是同一个民族, 但是在龋齿的发生和影响因素上表现出共同的特征。这可能是因为这2个民族居住的环境相似, 地域相邻, 经济水平和饮食习惯基本相似, 主要是以小麦、豆类、土豆为主, 牛羊肉为副食。而裕固族人口主要聚居在肃南裕固族自治县境内的康乐、大河、明花、皇城区及马蹄区的友爱乡等地区, 以牧业为主, 喜食酥油奶茶, 牛羊肉类在饮食中所占比例较大, 蔬菜的消费量较小<sup>[5]</sup>。这提示营养因素在龋齿发病中具有一定作用。

### [参考文献]

- [1] World Health Organization. Oral health surveys basic methods [M]. 4th ed. Geneva: World Health Organization, 1997 :1-21.
- [2] 齐小秋. 第三次全国口腔健康流行病学抽样调查报告[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008 :84-104.  
QI Xiao-qiu. Report of spot check of the third national epidemiological survey of oral health status[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008 :84-104.
- [3] 傅思武. 口腔微生物学[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2007 :125.  
FU Si-wu. Oral microbiology[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2007 :125.
- [4] 王琳, 林居红, 刘渝嘉, 等. 重庆市12岁儿童口腔健康知识及行为的调查分析[J]. 重庆医科大学学报, 2008, 33(1) 91-94.  
WANG Lin, LIN Ju-hong, LIU Yu-jia, et al. Investigation and analysis on the oral health knowledge and behavior of 12-year-old schoolchildren in Chongqing[J]. J Chongqing Medical University, 2008, 33(1) 91-94.
- [5] 高自厚. 裕固族通史[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 2003 :12.  
GAO Zi-hou. General history of Yugu race[M]. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 2003 :12.

(本文编辑 李彩)