



# 上海女子自行车运动员冲刺骑行中的下肢运动学评价

何俊良,许以诚,马国强

**摘要:**对女子短距离自行车运动员45 s全力冲刺骑行进行下肢运动学分析,探讨不同水平运动员速度能力的特点,筛选可评价下肢踏蹬技术的运动学指标。使用三维红外运动捕捉系统及SRM自行车测功仪,采集上海自行车队4名女子短距离运动员场地车滚筒练习台上45 s全力冲刺骑行中的下肢运动学参数和踏频。结果表明,钟xx速度能力较好,45 s全力冲刺骑行各阶段平均速度较高,但下肢踏蹬"圆滑度"还需进一步提高;顾xx和姚xx后程速度下降明显,速度耐力明显不足。在全力冲刺骑行后期,运动水平较高的运动员(钟xx)踝关节活动度下降明显小于运动水平较低的运动员(顾xx和姚xx),提示踝关节活动度下降是影响自行车短距离项目运动员速度耐力的因素之一。

**关键词:**自行车;生物力学;运动学

中图分类号:G804.6 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2018)02-0087-04  
DOI:10.12064/ssr.20180210

## Kinematic Evaluation of Lower Limbs during Sprint Riding of Female Cyclists

HE Junliang, XU Yicheng, MA Guoqiang

(Shanghai Research Institute of Sports Science, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** This paper makes a kinematic analysis of female sprint cyclists sprinting for 45s so as to explore the characteristics of the speed capability of different-level athletes and screening and selecting the kinematic indexes for evaluating lower extremity technique. Three-dimensional motion capture system and SRM were used to collect the kinematic parameters of the lower limbs and pedaling frequency of 4 sprint cyclists of Shanghai Cycling Team, who practised sprint cycling for 45s on a practice stage. The result shows that Zhong's speed capacity is better. Her average speed of the different phases of 45s sprinting is higher, but the smoothness of her lower limb pedaling needs to be improved. The latter half speed of Gu and Yao decreased significantly, which shows their insufficient speed endurance. During the latter half sprinting, the decrease of the ankle-joint range of motion (ROM) of Zhong, a higher-level athlete, is obviously less than those of Gu and Yao, the lower-level athletes, which suggests that the decline of ROM is one of the factors affecting the speed endurance of sprint cyclists.

**Key Words:** bicycle; biomechanics; kinematics

女子短距离自行车项目是上海市的优势项目,在刚结束的第十二届全国运动会上,上海自行车队短距离项目夺取了优异的成绩。全运会过后,上海自行车短距离项目怎样在国内保持优势,在国际赛场上取得更好成绩,对短距离自行车运动员的骑行技术进行技术诊断无疑是一次有效的科学训练尝试。

速度能力一直是自行车运动员最为重要的能力,包括启动加速能力(爆发力)和高速维持能力(速度耐力)。45 s全力冲刺骑行训练是上海自行车队女

子运动员常用的速度能力训练方法。已有研究表明,在自行车全力冲刺骑行后期,自行车运动员会减少踝关节的移动,使下肢踏蹬动作仅限于髌关节和膝关节的屈伸动作<sup>[1]</sup>。该研究提示,在全力冲刺骑行中,不同运动员的速度能力特点可能通过一些运动学参数及其变化体现出来。

本文通过对女子自行车运动员全力冲刺骑行的下肢运动学分析,探讨不同水平运动员速度能力的特点,筛选评价下肢踏蹬技术的运动学指标,为上海自行车女子短距离运动员提供个性化训练建议。

收稿日期:2017-10-11

基金项目:上海市科委资助课题(12231203000)。

第一作者简介:何俊良,男,助理研究员。主要研究方向:运动生物力学。E-mail:heh2h3@163.com。

作者单位:上海体育科学研究所,上海 200030。



## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

选取上海市自行车队短距离项目女子运动员 4 名。受试运动员具体信息见表 1。

表 1 受试自行车运动员基本信息表

Table 1 Basic Information of the Subjects

姓名	年龄/岁	身高/cm	体重/kg	专项训练年限/年	运动等级
钟××	21	168	63.8	7	健将
徐××	24	169	62.5	8	健将
顾××	18	161	59.1	3	一级
姚××	23	163	65.2	5	一级
平均值	21.5±2.29	165.3±3.34	62.7±2.26	5.8±1.92	

受试运动员身体健康状况良好,实验前 24 h 未从事剧烈运动,半年内无下肢创伤史,受试当日无肌肉疲劳症状、精神状态良好。

### 1.2 研究方法

本研究使用的三维红外运动捕捉系统为由 9 台瑞典 QUALISYS 公司生产的 OQUS400 红外摄像头组成,本次研究中采样频率为 120 Hz,采集软件为 QUALISYS 自带软件 QTM (Qualisys Track Manager),软件版本为 QTM 2.7。所有摄像头由其自带的同步装置进行同步捕捉。本次研究中,三维红外运动捕捉系统摄像头布局如图 1 所示。

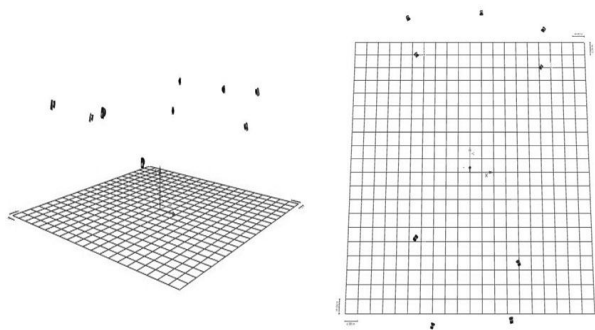


图 1 三维红外运动捕捉系统镜头构成图

Figure 1 Camera Composition of the Three-dimensional Motion Capture System

在受试者身上贴放 50 处 Mark 反光点。包括骨盆部分 6 点,即双侧髂前上棘点、髂后上棘点、髂嵴最高点;双侧下肢 18 点,包括双侧股骨大转子点、大腿跟踪点(用弧形塑料板绑于大腿中段,塑料板上放置 4 点呈矩形排列)、股骨外上髁点、股骨内上髁点、小腿跟踪点(用弧形塑料板绑于小腿中段,塑料板上放置 4 点呈矩形排列)、腓骨外髁点、胫骨内髁点;双侧足部共 8 点,包括双侧第一跖趾关节点、第五跖趾关节点、足跟点、足面跟踪点。

踏频数据采集装置为德国产 SRM 自行车测功仪,型号为场地无线版。

本次测试要求受试运动员使用场地自行车于滚筒之上进行全力冲刺骑行,测试用 LOOK 496 场地自行车(法国)上安装无线版场地 SRM 系统(德国)。以测试人员口令为开始信号,同步进行运动学与踏频频率采集受试运动员进行 45 s 全力冲刺骑行数据(测试准备开始之前由测试人员抓扶自行车后端使受试运动员保持平衡)。受试者被要求全程保持坐骑,并尽最大努力完成每一脚踏蹬,采集全力骑行 45 s 的下肢运动学数据。使用 Visual3D 软件计算出受试者的运动学相关参数。

### 1.3 测试指标

本文主要选取自行车踏频、踏板速度、下肢关节活动度等指标进行分析研究,测试结果选取开始加速 1.5 s、速度平稳期 1.5 s 和结束前 1.5 s 这 3 个时期进行分析(3 个时期分别记为开始阶段、中间阶段、结束阶段)<sup>[2]</sup>。

自行车踏频指受试运动员在 1 min 内踏板转动的圈数。踏板速度指踏板转动的线速度,本次研究中受试运动员左足第五跖趾关节的线速度表示,不考虑速度向量的方向性。用以间接表示受试运动员的骑行速度,从而体现受试运动员在整个全力冲刺骑行中的速度能力。各阶段的最大踏板速度,选取该阶段左足跖趾关节最大线速度;最小踏板速度则选取最大踏板速度同一踏蹬周期的左足跖趾关节的最小线速度。各阶段踏板速度差值通过最大踏板速度减去最小踏板速度得出。

下肢关节活动度指双侧下肢髋、膝、踝三关节的活动度。髋关节活动度通过计算骨盆与大腿的环节内角最大值与最小值之差得出。膝关节活动度是通过计算大腿与小腿的环节内角最大值与最小值之差得出。踝关节活动度是通过计算小腿与足的环节内角最大值与最小值之差得出。

### 1.4 数据处理

本研究中的所有数据均通过 EXCEL 2003 软件计算得出。

## 2 研究结果

### 2.1 自行车踏频

通过全程踏频曲线来看(见图 2),钟××全程踏频曲线峰值不高、加速阶段曲线斜率也不大、曲线在较高的踏频范围(140 rpm 以上)维持时间为 30.5 s、

后期曲线最小值大、后期曲线下降斜率小。徐××全程踏频曲线峰值不高、加速阶段曲线斜率也不大、曲线并没有能够达到较高的踏频范围(140 rpm以上)。顾××全程踏频曲线峰值最高、加速阶段曲线斜率较大、曲线在较高的踏频范围(140 rpm以上)维持时间为30 s、后期曲线最小值小、后期曲线下降斜率大。姚××全程踏频曲线峰值尚可、加速阶段斜率最大、曲线在较高的踏频范围(140 rpm以上)维持时间为30 s、后期曲线最小值较大、后期曲线下降斜率较小。

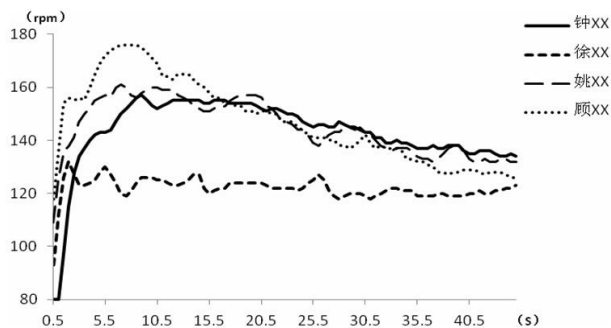


图2 女子自行车运动员45 s全力冲刺骑行踏频曲线图  
Figure 2 Pedaling Frequency Curve of the Female Cyclists during the 45s Sprint Riding

### 2.2 踏板速度

表2可见踏板速度在2.8 m/s以上属于较大的速度,为本次受试运动员中较高水平。钟××踏板速度最大值能够两次达到2.8 m/s以上,分别是开始阶段和中间阶段(2.85 m/s和2.88 m/s)。在4名受试运动员中,也只有钟××能够有两阶段踏板速度达到2.8 m/s以上,但是速度差值相对较大(3个时期分别为0.84 m/s、0.72 m/s、0.77 m/s)。徐××最高速度低(为2.44 m/s),且整体速度最大值均不高(中间时期为2.30 m/s,结束时期为1.12 m/s),结束时期较开始时期下降较为明显(>1m/s)。3个时期速度差值均较小(分别为0.53 m/s、0.51 m/s和0.23 m/s)。顾××3个阶段的踏板速度最大值的平均值为2.67 m/s,在所有受试运动员中排名第三,但在开始阶段踏板速度最大值达到2.89 m/s,为女运动员中最大值,开始阶段与结束阶段的踏板速度最大值差为0.46 m/s,在所有受试运动员中排名第三。姚××3个阶段的踏板速度最大值的平均值为2.71 m/s,在所有受试运动员中仅次于钟××。开始阶段与结束阶段的踏板速度最大值差为0.37 m/s,与钟××的0.08 sm/s相比还是存在差距。在3个时期速度差值相对较大(0.76 m/s、0.74 m/s、0.65 m/s)。

表2 冲刺骑行测试3个阶段的踏板速度变化一览表  
Table II Change of the Pedaling Speed during the Three Stages of Sprint Riding

姓名	阶段	左足第五跖趾关节(m/s)		
		最大值	最小值	差值
钟××	开始阶段	2.85	2.01	0.84
	中间阶段	2.88	2.16	0.72
	结束阶段	2.77	1.99	0.77
	平均值	2.83	2.06	0.78
徐××	开始阶段	2.44	1.91	0.53
	中间阶段	2.29	1.79	0.51
	结束阶段	1.12	0.89	0.23
	平均值	1.95	1.53	0.42
顾××	开始阶段	2.89	2.50	0.39
	中间阶段	2.70	2.11	0.59
	结束阶段	2.43	1.94	0.50
	平均值	2.67	2.18	0.49
姚××	开始阶段	2.86	2.10	0.76
	中间阶段	2.78	2.04	0.74
	结束阶段	2.49	1.84	0.65
	平均值	2.71	1.99	0.72

### 2.3 下肢髋、膝、踝关节活动度

如表3所示,钟××、顾××、姚××3名运动员发生了结束阶段较开始阶段踝关节活动度减少,髋关节活动度增加的现象。尤其以两名一级运动员运动员顾××和姚××较为明显,左踝关节下降幅度都超过了10°(顾××为23.789°,姚××为16.931°),而她们右踝关节活动度下降幅度却没有左踝关节显著(顾××为13.224°,姚××为4.254°)。

表3 冲刺骑行测试3个阶段的下肢关节活动度变化一览表  
Table III Change of the ROM of the Lower Limbs during the Three Stages of Sprint Riding

姓名	阶段	左侧下肢关节/°			右侧下肢关节/°		
		踝	膝	髋	踝	膝	髋
钟××	开始阶段	39.32	72.81	33.39	32.96	75.64	30.73
	中间阶段	36.13	69.82	34.86	30.35	73.20	31.79
	结束阶段	33.67	71.09	36.39	27.42	73.02	33.28
徐××	开始阶段	16.05	73.12	42.41	13.33	76.80	46.25
	中间阶段	14.08	73.18	38.38	13.85	76.29	47.84
	结束阶段	15.27	76.24	48.48	13.04	75.38	50.39
顾××	开始阶段	39.70	75.65	32.32	36.24	75.48	37.91
	中间阶段	22.06	74.76	31.56	26.29	76.77	38.04
	结束阶段	15.91	74.59	37.30	23.02	76.30	38.75
姚××	开始阶段	39.61	71.46	37.05	38.41	73.95	32.87
	中间阶段	33.20	71.57	34.03	37.54	79.33	34.25
	结束阶段	22.68	70.33	31.67	34.66	79.21	40.11



### 3 分析讨论

针对自行车运动短距离项目而言,速度能力是极为重要的。优秀的速度能力应当表现为强大的启动加速能力(从静止状态加速到最大速度),良好的维持高速能力(在竞赛中能将速度维持在一个高水平)。

踏蹬频率能够显示自行车运动员速度能力的水平,而45 s全程冲刺骑行的踏频曲线则可以反映出运动员的速度能力特点。钟xx测试全程的踏频变化提示该运动员的专项速度能力特点为:维持高速能力突出,加速能力强;而顾xx和姚xx的踏频曲线均显示出运动员的速度能力特点为,加速能力强;但姚xx的维持速度能力较弱,后期骑行速度下降较为严重。这一现象也能够充分地与他们的运动成绩相互印证,姚xx的运动成绩要差于钟xx和顾xx。自行车踏频曲线能够从整体上显示受试运动员的速度能力特点,通过对曲线的分析为进一步对受试运动员做踏蹬动作技术下肢运动学分析奠定基础。通过明确不同运动员的速度能力特点,有助于今后更好地制定训练侧重点和调整项目的技战术。

同样,通过分析踏板速度变化也发现,钟xx能获得的最大速度较大、保持高速度的能力很强。钟xx 3个阶段的踏板速度最大值的平均值为2.83 m/s,在所有受试运动员中最大,并且开始阶段与结束阶段的踏板速度最大值差为0.08 m/s,为所有受试运动员中最小。这表明钟xx的速度能力,无论是启动加速能力,还是维持高速能力都较其他运动员具备一定的优势,并且维持高速能力优势明显。

维持高速的能力是运动员获得优秀成绩的关键环节。而在冲刺骑行中后期出现的速度下降现象,是一种正常的生理现象。怎样减弱这种生理现象,则取决于机体抵抗疲劳反应,尤其是下肢肌肉群抵抗疲劳反应的能力<sup>[3]</sup>。

本次研究中发现,受试运动员全力冲刺骑行到了中后期,发生踝关节活动度减小、髌关节活动度增加的现象。并呈现随着运动员的运动水平降低,左踝关节活动度减小程度增大的趋势。这可能由于全力冲刺骑行后期机体产生疲劳,特别是小肌肉群控制的关节(如踝关节)疲劳反应最大,为了继续保持高速骑行,于是就发生了大肌肉群控制的关节(如髌关节)代偿的现象<sup>[3]</sup>。

由于踝关节跖屈肌可将下肢产生的功率传递到踏板,因此减少踝关节运动能够增加关节刚度,从而减少疲劳状态下踝关节的能量流失<sup>[4]</sup>。

在每个踏蹬圆周内减少踝关节的运动还可将骑行简化为一个双关节屈伸动作,以便在中枢和/或外周疲劳状态下更容易进行协调。研究报道,当受试

者出现疲劳时,自由度的减小能够简化动作需求,这些特定关节的变化在拉锯动作、跳跃、投掷、双手瞄准和举重中均有报道<sup>[5]</sup>。就自行车短距离项目而言,这可能是影响速度耐力的因素之一。

可以认为,下肢肌肉小肌群,主要是踝关节附近的小肌群是在全力冲刺骑行中后期最容易受到机体疲劳影响的部分,从而产生了全力冲刺骑行中后期踝关节活动度降低现象,这在一定程度上影响了下肢链将人体做功传递到自行车踏板,从而造成踏频下降、踏板速度降低的情况。这也印证了先前研究者关于自行车运动员全力冲刺后期腓肠肌外侧肌肉肌电中位频率下降特别明显的研究结果,训练中可适当增加下肢小肌肉群的速度耐力训练<sup>[6]</sup>。

明确不同运动员的速度能力特点,可以针对性地采用不同的技术来发挥运动员的最大能力。启动加速能力与维持高速能力同样重要,而维持高速能力的不同则能够较好的体现运动员运动成绩的优劣。

在训练实践中,通过提高技术动作的有效性、降低损耗,能够更好地发挥速度能力。教练员通常要求运动员表现出踏蹬动作“圆滑”,这是指自行车踏蹬一周时,牙盘上各角度的角速度趋向恒定<sup>[7]</sup>。在同样的牙盘半径条件下,踏板速度差值也能在一定程度上反映受试运动员踏蹬动作的“圆滑”程度。

本研究发现,所有受试运动员踏频在接近100~130 rpm范围内时,踏板速度差值有变小的趋势,尤其以徐xx的自行车踏频曲线最为明显,这也印证了先前研究者关于自行车运动员在100~130 rpm踏频状态下,运动员的踏蹬“圆滑度”最好的研究结论<sup>[8]</sup>。

“圆滑”的踏蹬技术能够增加踏蹬动作的有效性,能够获得更大的专项速度,降低冲刺骑行后期速度下降的幅度。而钟xx的踏板速度差值较大,表明在全力骑行过程中其踏蹬动作并不够“圆滑”。如果能够在今后的训练中加强钟xx技术动作有效性的训练,使其踏蹬用动作更加符合“圆滑”这一技术要求,将能够在专项成绩上取得突破。

### 4 结论

**4.1** 在45 s全力冲刺骑行测试中,自行车踏频曲线、踏板速度能够反映自行车运动员全力冲刺骑行的速度能力及特点。而踏板速度差值则能在一定程度上反映自行车骑行踏蹬动作的“圆滑度”。

**4.2** 4名运动员中,钟xx全力冲刺骑行各阶段平均速度较高,速度耐力较好,但骑行踏蹬“圆滑度”仍需进一步提高;顾xx和姚xx速度能力的短板主要表现为后程降速明显。

(下转第104页)



relation Analysis between Technology Readiness Level and Performance in Civil Aircraft[J]. JOURNAL OF GREY SYSTEM. 2016, 28(1): 109-117.

- [6] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [7] 王乐军, 殷静, 许以诚, 等. 谢文骏与刘翔 110m 栏分段成绩与总成绩的灰色关联度对比分析[J]. 体育科研. 2016(05): 96-99.
- [8] 朱礼金. 世界优秀女子蹦床运动员竞技水平分析——兼析我国优秀女子蹦床运动员备战奥运会的不足与对策[J]. 中国体育科技. 2012(04): 65-70.
- [9] 徐明欣, 王童, 潘新铭. 灰色关联分析在运动员竞技能力诊断中的应用[J]. 青岛大学学报(自然科学版). 2001(03): 85-90.
- [10] 徐明欣, 王童, 王秉彝, 等. 运动成绩与竞技能力内在关系灰色关联分析[J]. 首都体育学院学报. 2001(01):93-96.
- [11] 刘满金, 杜旭超. 我国优秀散打运动员竞技能力结构与运动成绩的整体关联度研究[J]. 广州体育学院学报. 2009(02): 82-85.
- [12] 邓万金. 一级男子百米运动员身体素质与运动成绩的灰色关联度分析[J]. 山东体育科技. 2005(03): 13-14.
- [13] 杜和平. 世界优秀男子跳高运动员的各项身体素质指标与其运动成绩间的灰色关联度分析[J]. 北京体育大学学报. 2006(05): 706-707.

- [14] 黄昌美. 世界优秀男子铅球运动员运动成绩与身体素质的灰色关联分析[J]. 山西师大体育学院学报. 2009(01): 92-95.
- [15] 金成全. 北京奥运会体操男子全能成绩的灰色关联分析[J]. 体育科技文献通报. 2010(01): 31-32.
- [16] 朱礼金. 训练学视角下蹦床比赛制胜规律的哲学思考与层次解析[J]. 中国体育科技. 2013(05): 35-42.
- [17] 方伯生. 优秀男子蹦床运动员预跳高度与运动成绩的关系[J]. 中国体育教练员. 2016(01): 43-44.
- [18] 刘爱梅, 朱礼金. 新规则周期世界优秀女子蹦床运动员技战术特征及我国蹦床训练策略研究[J]. 山东体育学院学报. 2014(04): 93-97.
- [19] 徐毅成, 刘波. 蹦床运动规则的变化对成绩与排名的影响——以第 30 届奥运会男子蹦床比赛为例[J]. 浙江体育科学. 2013(02): 55-58.
- [20] 牛雪松, 刘兴. 我国优秀蹦床运动员网上非技术性位移的初步研究[J]. 沈阳体育学院学报. 2003(03): 89-91.
- [21] 朱礼金. 世界优秀女子蹦床运动员竞技水平分析——兼析我国优秀女子蹦床运动员备战奥运会的不足与对策[J]. 中国体育科技. 2012(04): 65-70.
- [22] 张健驰. 蹦床运动员下落时位移对其成绩的影响[J]. 南京体育学院学报(自然科学版). 2007(03): 66-68.

(责任编辑:何聪)

(上接第 90 页)

**4.3** 在场地自行车全力冲刺骑行中, 后期降速的程度是体现我国女子场地自行车运动员速度水平的重要指标。

**4.4** 场地自行车全力冲刺骑行后期, 运动员的踝关节活动度有所下降, 但高水平运动员降幅较小, 踝关节活动度下降可能是影响自行车短距离项目运动员速度耐力的因素之一。可在今后训练中增加下肢小肌肉群的速度耐力训练。

### 参考文献:

- [1] Murian A., Deschamps T., Bourbousson J., et al. Influence of an exhausting muscle exercise on bimanual coordination stability and attentional demands[J]. Neurosci. Lett., 2008, 432 (1), 64-68.
- [2] James C., Martin, Nicholas A., Brown T. Joint-specific power production and fatigue during maximal cycling[J]. Journal of Biomechanics, 2009, 42:474-479.
- [3] Allen D., Lamb G., Westerblad D. H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms[J]. Physiol. Rev., 2008, 88

(1):287-332.

- [4] Mornieux G., Guenette J., Sheel A.W., et al. Influence of cadence, power output and hypoxia on the joint moment distribution during cycling[J]. Eur. J. Appl. Physiol., 2007, 102 (1):11-18.
- [5] Zajac F.E., Neptune R. R., Kautz S.A. Biomechanic sandmuscle coordination of human walking. Part I: introduction to concepts, power transfer, dynamics and simulations[J]. GaitPosture, 2002, 16(3):215-232.
- [6] 黄勇, 王乐军, 龚铭新, 等. 自行车运动员下肢肌肉sEMG特征及与输出功率的相关性[J]. 上海体育学院学报, 2010, 34(5):64-67.
- [7] 熊开宇, 全如璐, 延烽, 等. 自行车踏蹬圆滑度测定分析系统的研制与应用[J]. 中国体育科技, 1999, 35(7):36-38.
- [8] 郑晓鸿, 延烽. 当前我国场地自行车项目高水平女子运动员踏蹬状态的初步研究[J]. 北京体育师范学院学报, 1997, 9(2):28-36.

(责任编辑:何聪)