

·运动人体科学·

## 足球运动踢球腿摆动阶段的不同时相运动特征

蒋仲君<sup>1</sup>, 鲁梅<sup>1</sup>, 郜义峰<sup>2</sup>

(1.中南大学 体育教研部, 湖南 长沙 410083; 2.北京体育大学 研究生院, 北京 100084)

**摘 要:** 运用生物力学手段对 5 名高水平足球运动员摆动腿进行研究发现: 根据摆动腿环节摆动顺序与环节摆动速度相结合的方法可将其划分为用力蹬伸、主动后摆、大腿前摆、小腿前摆, 脚触球 5 个阶段。其中, 用力蹬伸阶段是不可忽视的重要阶段之一, 主动后摆阶段摆动腿应在不影响前摆速度的前提下尽力后摆; 大腿前摆阶段摆动腿应在大腿摆到一定幅度时进行积极制动, 摆动幅度不宜过大; 小腿前摆阶段摆动腿除了膝关节的积极制动外还应主动施力。

**关 键 词:** 运动学; 踢球腿摆动阶段; 时相划分特征; 足球

中图分类号: G843 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2010)08-0102-05

### Moving characteristics of the ball kicking leg at different time phases of the swinging stage in soccer playing

JIANG Zhong-jun<sup>1</sup>, LU Mei<sup>1</sup>, BU Yi-feng<sup>2</sup>

(1.Department of Physical Education, Central South University, Changsha 410083, China;

2.Postgraduate School, Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The authors studied the swinging leg of 5 high performance players by using biomechanical means, and revealed the following findings: the swinging process can be divided into 5 stages, namely, forceful stretching stage, active backward swinging stage, forward thigh swinging stage, forward leg swinging stage and ball kicking stage according to the method of combining the swinging sequence of the swinging leg with the swinging speed, in which the forceful stretching stage is one of important stages not negligible, and at the active backward swinging stage the swinging leg should swing backward as forceful as possible under the precondition that it does not affect the forward swinging speed; at the forward thigh swinging stage the swinging leg should brake actively when the thigh swings to a certain amplitude, and the swinging amplitude should not be too big; at the forward leg swinging stage the swinging leg should apply a force actively while the knee joint brakes actively.

**Key words:** kinematics; ball kicking leg swinging stage; time phase divided characteristics; soccer

踢球是足球运动中最主要的技术, 它在比赛中是以传球和射门为主要形式体现的, 足球踢球技术中踢球腿的摆动不同于其它运动项目中相类似的踢腿摆动, 这不仅是因为踢球腿的摆动是由后摆、前摆等一系列动作细节组成的复杂过程, 而且由于踢球腿的摆动过程中自身的髋、膝、踝 3 个主要关节的作用不同于一般的摆动, 还要起到一定的技术作用<sup>[1]</sup>。它们不但有绕各自轴的转动, 还有随运动员的身体整体向前平移的运动。不同的运动形式, 运动的速度表现不同, 而分析研究其运动速度则需要从运动形式出发, 进行

全面的分析。因此, 对于运动员踢球腿摆动阶段的划分具有重要的意义。查阅当前资料, 对于摆动腿的划分仅停留在将其划分为后摆、前摆两个阶段, 尚未见到有人对此进行更为专门精细划分的报告。因而, 本文试图通过踢球腿摆动阶段的环节顺序特征和速度特征作为划分时相的依据将摆动阶段的划分更加细致化, 以便更深刻理解摆动腿摆动阶段的运动学特征。

### 1 研究对象与方法

1)研究对象。

收稿日期: 2010-03-17

作者简介: 蒋仲君 (1962-), 男, 副教授, 研究方向: 体育教育学与运动训练学。

5名男子足球运动员,均为右脚选手,均接受过长时间系统的专业训练,国家2级运动员水平以上,身高( $1.76 \pm 0.06$ ) m,体重( $75.00 \pm 6.32$ ) kg,腿长( $92.00 \pm 3.92$ ) cm。

## 2)研究方法。

(1)研究内容:实验在天气晴、无风、气温 $28^{\circ}\text{C}$ 左右,运动员在无伤病条件下进行。运动员进行充分热身后用正脚背踢球方法进行踢准。每个运动员最少踢2次,保证最少有2次踢入圆圈内,获得每个运动员的2次有效数据,选择其中1次较为理想的数据(由实验人员与参与运动员共同判定)。足球为国际足联规定的5号正式比赛用球,球重438 g,球内气压约为750 hPa。

(2)三维运动学分析法:采用两台索尼HC1E型号的摄像机,拍摄速度为50帧/s,两机高度为1.2m,A机位于运动员正右侧方,B机位于运动员正前方偏右 $20^{\circ}$ ,两机主光轴约成 $70^{\circ}$ 。踢球前固定坐标框架并进行了拍摄,踢球时移开框架再对运动员完成的动作进行定点同步拍摄(如图1)。对拍摄的运动录像,通过德国的SIMIo motion7.3三维录像解析系统进行三维解析,采用汉纳范(Hananvan)人体数学模型:19个关节(另外,足球作为一个附加点,共计20个),解析一套运动录像可获得13680多个数据,用数字滤波法进行平滑处理,截断频率为8 Hz,使用DLT法计算得到解析点的三维空间坐标,三维直角坐标系的选择如图2。

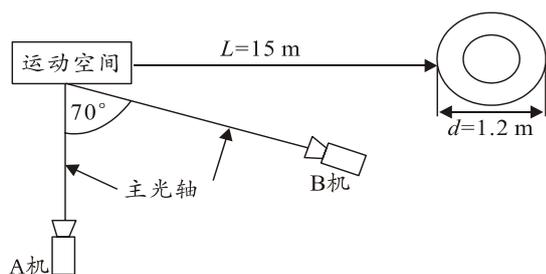


图1 拍摄现场俯视图

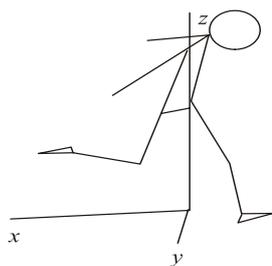


图2 三维运动分析的直角坐标系示意图

(3)三维标定误差:应用SIMIo Motion三维录像分析系统提供的三维标定精度验证功能,可对计算得到的控制点的坐标与实际坐标的一致性进行检验,控制点通过计算得到的坐标相对于实际坐标平均相对误差和标准差分别为:A机0.13和0.08,B机0.15和0.06。三维标定的精度可以满足分析的需要。

(4)数理统计法:通过对所测得数据进行分析与筛选,所获得运动学参数用spss11.5统计软件进行处理,结果用“均数 $\pm$ 标准差”表示。 $P < 0.05$ 为差异具有显著性, $P < 0.01$ 为差异具有非常显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 踢球腿摆动阶段的时相划分

时相划分是研究技术动作的重要环节。由于研究对象不同、目的及侧重点不同,动作时相的划分依据也不尽相同,通常确定依据的客观标准是既要能表达动作结构的实际又便于实际测量<sup>[2]</sup>。前人研究表明,摆动腿的摆动可通过环节摆动顺序<sup>[3]</sup>、环节或关节摆动速度<sup>[4]</sup>作为摆动腿动作时相的划分依据。但过于简单的划分并不利于对该动作进行详细的运动学技术分析。因而,本研究采用环节摆动阶段与环节摆动速度相结合的方法来确定动作时相的划分。

摆腿是指踢球腿击球前的摆动过程<sup>[5]</sup>。由此看来,摆动腿的摆动应该是从踢球腿全脚掌着地蹬伸开始,至摆动腿接触球的瞬间结束。为了确定动作结构和时相划分的方便,本研究确定了踢球腿摆动阶段的特征画面,即不同动作阶段的临界点。以踢球腿摆动阶段与摆动速度为依据可确定为:“踢球腿开始蹬伸”、“踢球腿蹬离地面”、“支撑腿着地”(踢球腿髌关节急剧加速时刻)、“踢球腿膝关节最大速度时刻”及“脚触球时刻”5幅特征画面。在后期的实验研究中表明对摆动腿摆动阶段的时相划分更容易对摆动腿摆动过程中的生物力学特征进行揭示<sup>[5-7]</sup>。

研究表明:依据摆动腿摆动阶段的顺序和速度可将其划分为5个阶段:用力蹬伸阶段(1)、主动后摆阶段(2)、大腿前摆阶段(3)、小腿前摆阶段(4)及脚触球阶段(5)(如图3)。

用力蹬伸阶段是指从“踢球腿着地时刻”开始到“踢球腿蹬离地面”为止。由于踢球腿主动用力蹬伸且未蹬离地面,踢球者大腿不会随髌关节向前平行移动,只能以踢球脚为支撑,髌关节为轴相对向后转动,同时,大腿相对于髌关节的伸展度也在不断增加。此阶段,踢球腿的摆动主要是以蹬地伸髌的方式进行的。

主动后摆阶段是指从“踢球腿蹬离地面”到“支撑腿着地”。由于踢球腿的离地,踢球腿开始了真正的

摆动。此阶段,由于踢球腿大腿已经极度后摆,又要屈小腿,这样造成了诸如股直肌、缝匠肌等一些双关节肌的“被动不足”,对于小腿,造成了诸如半腱肌、半膜肌等一些股后肌群的“主动不足”。因而,为了克服大腿前肌群的“被动不足”和后肌群的“主动不足”,增大踢球腿后摆的幅度,踢球者必须主动用力。

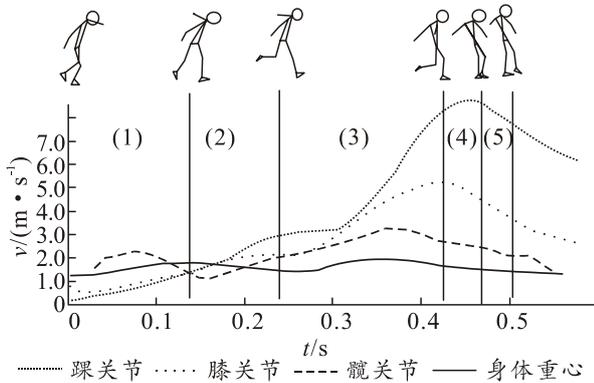


图 3 踢球腿摆动阶段划分

大腿前摆阶段是指从“支撑腿着地”到“踢球腿膝关节最大速度时刻”。此时,踢球腿后摆阶段结束,进入前摆阶段。髋关节先于膝关节加速,然后膝关节加速运动,符合关节活动顺序性原理。大腿角( $x$ 轴负向与髋-膝连线的夹角)逐渐变小,由于膝关节向前摆动,股后肌群的“主动不足”和大腿前肌群的“被动不足”现象逐渐消除,小腿屈曲运动速度明显增加,增大了踢球腿的后摆幅度,为踢球腿的加速前摆提供了有利的条件。

小腿前摆阶段是指从“踢球腿膝关节最大速度时刻”到“脚触球时刻”。膝关节速度达到峰值后开始急剧下降,而踝关节速度急剧增大,动量逐渐从大腿传递到小腿。分析得知,脚触球瞬间并不是踝关节合速度最大时刻,而是在其之后踝关节水平速度最大时刻。这是因为踝关节速度  $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$ , 当  $v_x$  最大时,  $v_y$  和  $v_z$  较小, 所以导致踝关节合速度  $v$  不是最大。

脚触球阶段是指“脚触球时刻”到“球远离脚面”。有研究表明,除了大小腿等主要环节因素外,脚与运动鞋的硬度以及在与球接触时它们之间的微小变化也是影响球速及准确度的重要原因之一,能够踢出高速球的运动员往往都具有坚固的脚踝屈曲状态<sup>[8]</sup>。

结果表明:踢球腿的后摆既不是《足球》教科书所说的“顺势后摆”,也不是一些学者所说的“积极后摆”、“主动后摆”,而是踢球腿用力蹬伸与积极主动后摆的结合,主动后摆是用力蹬伸的延续,用力蹬伸则是主动后摆的基础。踢球腿的前摆则与他人的研究结论相一致,髋、膝、踝 3 关节依次摆动达到峰值,其

关节活动符合关节活动顺序性原理,属于鞭打动作(这一结果可能仅限于正脚背踢球)。

## 2.2 踢球腿摆动阶段的时相特征

### 1) 踢球腿摆动阶段的总体运动学特点。

(1) 主要技术阶段时间比例。从踢球腿支撑开始到踢球腿触球瞬间为止,各阶段时间分配与比例如表 1 所示。由表 1 可以看出,用力蹬伸阶段占整个摆动时间的比例最大,此阶段对于提高球速的贡献是非常大的,相关系数  $r=0.88(P<0.05)$ ,二者呈高度相关。主要原因是踢球腿主动用力蹬伸且未蹬离地面,踢球者大腿不能随髋关节向前平行移动,只能以踢球脚为支撑,髋关节为轴相对向后转动,致使身体重心速度迅速增加,这样,摆动腿在后摆阶段就获得了一定的向前水平初速度,从而提高了击球时的速度。在整个摆动腿摆动过程中,用力蹬伸时间占整个摆动时间比例最大,由此看来,我们应该把用力蹬伸阶段作为踢球腿摆动的重要一部分,重新认识此阶段的重要性。

表 1 主要技术阶段的时间( $\bar{x} \pm s$ )分配

阶段	n/人	时间/s	所占比例/%	与球速相关系数
用力蹬伸	5	0.19±0.01	36.12±0.08	0.88 <sup>1)</sup>
主动后摆	5	0.08±0.01	15.21±0.08	-0.30
大腿前摆	5	0.15±0.11	28.52±0.84	0.95 <sup>1)</sup>
小腿前摆	5	0.06±0.01	11.98±0.04	-0.45
脚触球	5	0.04±0.01	8.17±0.05	0.85 <sup>1)</sup>
总时间	5	0.526	100	

1)  $P<0.05$

为了明确摆动腿各阶段占用时间与踢球速度的关系,我们对二者进行了相关分析发现,用力蹬伸、大腿前摆、脚触球 3 阶段与球速之间相关系数非常大,相关系数分别为 0.88、0.95、0.85。而主动后摆、小腿前摆两阶段与球速之间呈负相关,相关系数分别为 -0.30、-0.45,但两者都不具有显著性。

从后摆阶段来看,用力蹬伸阶段与球速之间相关系数非常大,说明此阶段蹬伸越充分,蹬伸速度越快,身体获得的水平速度就会越大,踢球腿获得的初速度就会越大,就越有利于踢球速度的增大;而主动后摆阶段与球速之间呈负相关,说明大腿后摆到最大限度后应该迅速过渡到大腿前摆阶段,避免大腿前肌群肌肉出现松弛现象,破坏肌肉超等长收缩的完整性,从而提高伸肌群储存起来的弹性势能的利用率<sup>[9-10]</sup>。

从前摆阶段来看,大腿前摆阶段与球速间相关系数也非常大,说明大腿的摆动幅度越大,就越有足够时间提高其摆动速度,从而也反向说明,要想提高球

速,要在不影响摆动速度的情况下尽量增大摆动幅度。而小腿不同,由于受人体解剖结构的制约,其最大屈曲幅度个体差异性不大,因此,在摆动幅度相差不大情况下,摆动时间越短,说明摆动速度越快,所以,小腿前摆阶段与球速间呈负相关。此外,脚触球阶段与球速间相关系数也比较大,呈正相关  $r=0.85(P<0.05)$ 。根据动量定理  $Ft=mv$  可知,人体作用于球体上的冲量  $Ft$  越大,球体获得动量  $mv$  就会越大,球体飞行速度就会越快,因此,在踢球力量  $F$  不能增加的情况下,适当延长力的作用时间( $t$ )也可以增大人体作用于球体上的冲量。

(2)身体重心水平速度特征。图4中,A点为踢球腿着地时刻,B点为踢球腿将要离地时刻,C点为支撑腿着地时刻,D点为支撑腿前脚掌完全着地时刻。由图4可知,从踢球腿着地瞬间到离地瞬间(蹬伸阶段)身体重心水平速度从1.26 m/s增加到1.80 m/s,其速度为身体自身向前的水平速度与以踢球脚为轴向前转动的合速度。BC段为两脚离地时刻,由于缺少了支撑脚的转动,重心水平速度逐渐下降,从C点开始,身体重心逐渐由脚跟过渡到全脚掌,这样又形成了一个以支撑脚为轴的转轴,再加上支撑脚的制动效应与髋关节的前摆,速度急剧上升到2.11 m/s。D点以后主要是大腿的摆动后期以及小腿的摆动。

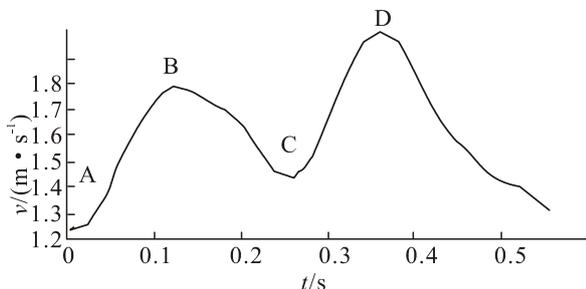


图4 身体重心水平速度曲线

## 2)摆动腿各阶段技术分析。

踢球腿的整个摆动动作可分为5个阶段,本研究主要分析用力蹬伸阶段(1)、主动后摆阶段(2)、大腿前摆阶段(3)及小腿前摆阶段(4)等4个阶段的技术(见图5)。

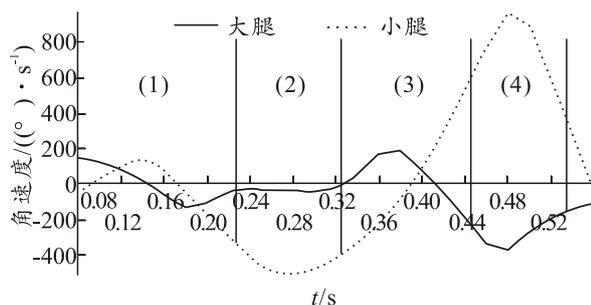


图5 各阶段大小腿角速度曲线变化

(1)用力蹬伸阶段。从踢球腿着地到全脚掌着地,是一个制动缓冲的过程,同时形成了一个以髋关节为轴,相对于身体向后转动的转轴,所以大腿角速度比较大,其值为  $196.85 \pm 23.45$   $^{\circ}/s$ 。缓冲结束后,大腿有一个短暂的向上蹬伸期,此时期大腿角速度下降,进入蹬伸阶段后,由于踢球腿的用力向前蹬伸,其角速度又呈逐渐变大趋势,随着脚掌的逐渐离地角速度又逐渐减小。此阶段前期,脚掌是一个逐渐蹬离地面的过程,所以小腿角速度呈现增大-减小的趋势,当此阶段后期,脚掌逐渐蹬离地面,股后肌群及小腿三头肌开始参与工作使得大腿积极后伸,角速度又开始增大(见图5)。从环(关)节角看,由于摆动腿的用力蹬伸,大腿角和膝角则一直呈现增大趋势,其最大角度分别为  $(104.40 \pm 76.51)^{\circ}$  和  $(169.60 \pm 4.88)^{\circ}$ ,而小腿角(x轴负向与膝-踝连线的夹角)则一直呈下降趋势。在此阶段,蹬伸效率越高,摆动腿前摆获得的初始动量越大,因此,在用力蹬伸阶段,提高摆动腿的蹬伸效率是提高摆动腿摆动速度的重要途径之一。

(2)主动后摆阶段。主动后摆阶段主要是在大腿用力蹬伸已具有一定幅度的基础上进行的,这样,致使大腿后摆角速度形成了一个逐渐减小的过程,最后达到大腿后摆的极限,角速度趋向0,最后摆动幅度达到最大为  $(114.20 \pm 8.84)^{\circ}$ ,与前一阶段相比,大腿角仅增加  $6.60^{\circ}$ 。从小腿角速度看,小腿角速度急剧增大,表明小腿已经开始加速做屈曲运动,且小腿角速度达到最大后摆角速度,其值为  $(592.54 \pm 16.18)$   $^{\circ}/s$ 。小腿角速度之大是由于前一阶段踢球腿良好的蹬伸创造了有利的条件,大小腿的充分伸直,拉长了小腿三头肌和股后肌群等主要肌群的长度,形成了良好的超等长收缩形式,所以,小腿可以加速向大腿靠拢。由此可知,大腿的后摆主要是在用力蹬伸阶段完成的,大腿的主动后摆则是用力蹬伸阶段的延续,小腿在主动后摆阶段继续加速后摆,且后摆的速度达到最大值。大小腿后摆角速度变化见图5。

(3)大腿前摆阶段。摆动腿后摆结束进入前摆阶段,从图5可以看出,此阶段大腿前摆角速度呈增大-减小-增大趋势,小腿后摆角速度则逐渐减小直到小腿停止后摆开始加速前摆。由图3可知,髋关节达到最大速度后出现下降趋势,这是一个制动过程,制动的结果就是完成了动量由近端向远端的传递,使得大腿角速度增加到  $(169.86 \pm 6.66)$   $^{\circ}/s$ ,膝关节的合速度达到5.26 m/s;同时,髋的积极制动也为大腿和小腿的前摆留有更加充足的时间和空间,因为人体环节的摆动幅度是一定的,倘若髋关节不及时制动,大小腿的摆动幅度就会相应减少,最后在脚环节处形成的合

速度就会明显减小;从解剖学上讲,髋关节的积极制动会使得髋关节处的肌群更加固定,就会更加有利于大腿肌群的收缩,形成比较理想的肌力。

此外,小腿角速度也从最大后摆角速度逐渐降低到0后开始加速前摆,小腿达到了最大屈曲程度,最大限度的靠拢大腿,同时又完成了从向后屈曲运动向向前伸展运动的转换。

(4)小腿前摆阶段。膝关节最大速度峰值后开始进入小腿前摆阶段,踝关节达到速度峰值(见图3)。膝关节的逐渐减速,是一个制动过程,使得动量由近端传递到远端,即:由大腿传递到小腿,致使小腿的角速度急剧增加,达到整个摆动阶段的最大值( $831.98 \pm 20.45$ ) $^{\circ}/s$ 。然而却发现,踢球腿触球瞬间小腿的摆动角速度却减小了(见图5),其值为( $655.70 \pm 15.63$ ) $^{\circ}/s$ ,究其原因可能与实验设计有关,踢球者为了控制踢球的准确度而进行的主动控制,这与实际比赛状况也是相符的,因为在比赛中,运动员无论是传球还是射门都不单单是为了追求踢球的速度,最重要的还是踢球的精确度。此外,由图5可知,大腿在小腿前摆阶段仍在向前摆动,因而得知,大腿的制动并不是绝对的制动,大腿的角动量也并没有完全传递到小腿,所以,小腿动量的获得应该主要包括两部分。即:近端环节的传递的一部分和远端环节的主动施力获得的另一部分。另外,摆动腿在触球阶段时膝关节角度约为( $138.53 \pm 8.35$ ) $^{\circ}$ ,与前人的研究结果 $137^{\circ}$ (优秀运动员)是基本一致的<sup>[11]</sup>。

### 3 结论与建议

足球运动中踢球腿摆动阶段采用环节摆动顺序与环节摆动速度相结合的方法可划分为5个动作时相:用力蹬伸阶段、主动后摆阶段、大腿前摆阶段、小腿前摆阶段、脚触球阶段。用力蹬伸阶段是不可忽视的一个重要组成部分,助跑最后一步,踢球腿要做到尽力充分、迅速蹬伸;主动后摆阶段摆动腿应在不影响前摆速度的前提下尽力后摆,大腿后摆到最大限度后应该迅速过渡到大腿前摆阶段,避免大腿前肌群肌肉出现松弛现象,破坏肌肉超等长收缩的完整性;大腿

向前摆动的幅度不应过大;摆动腿5个动作时相的运动学特征各不相同,既要提高传球与射门的精度,又要提高传球与射门的力度,必须形成正确的动作技术动力定型。

### 参考文献:

- [1] 张延安. 足背正面踢定位球踢球腿摆动速度的研究[D]. 北京:北京体育大学, 1986: 2.
- [2] 李亚茹. 原地起跳的生物力学[C]//第三届中国运动生物力学论文汇编, 1982: 1-8.
- [3] 足球教材编写组. 足球[M]. 北京:高等教育出版社, 1997: 41.
- [4] Hiroyuki Nunome, Yasuo Ikegami. Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred and non-preferred leg[J]. Journal of Sports Sciences, 2006, 24(5): 529-541.
- [5] 部义峰, 李世明, 熊安竹, 等. 脚背内侧踢球摆动腿的运动学与肌电信号特征研究[J]. 体育科学, 2007, 27(3): 54-58.
- [6] 部义峰, 李世明, 秦玉鹏, 等. 不同踢球方式摆动腿的运动学与肌电信号特征研究[J]. 体育科学, 2007, 27(12): 27-32.
- [7] 部义峰, 李世明, 秦玉鹏, 等. 优势脚与非优势脚正脚背踢球的运动学特征对比研究[J]. 天津体育学院学报, 2007, 22(4): 337-341.
- [8] Hiroyuki Nunome, Mark Lake. Impact phase kinematics of instep kicking in soccer[J]. Journal of Sports Sciences, 2006, 24(1): 11-22.
- [9] 部义峰. 超等长训练的影响因素及应用研究[J]. 鲁东大学学报:自然科学版, 2008, 24(1): 85-90.
- [10] 部义峰, 李世明, 韩静, 等. 不同高度间距组合跳深练习与起跳效果的非线性关系分析[J]. 天津体育学院学报, 2006, 21(6): 484-487.
- [11] 李明. 对脚背内侧踢定位球技术的生物力学研究——踢球腿主要关节运动速度的研究[D]. 苏州:苏州大学, 2004: 26.