

跆拳道品势侧踢动作的生物力学分析

唐守彦

(河南师范大学体育学院,河南 新乡 453007)

摘要:通过分析影像品势动作中的侧踢腿动作和分析肌电图,从而对动作的特性及技术构成要素和踢腿的肌肉活动度进行分析,提供有关动作的科学基础资料,目的是给指导者们提供正确的理论指导,为选手们的技术发展提供有效的动作执行方向,并提高其竞技力。

关键词:跆拳道;品势;侧踢动作;力学分析

中图分类号:G853

文献标志码:A

品势这一名称是于1987年2月22日由韩国国技院技术审议会后决定。品势的品字是指样子和方式;势字是指品行、品性、气韵、力气、姿态、样子、行为等都可以解释,如果看一下品势的手的技术和腿的技术比例的话,手技术占80%;脚技术占20%,就可以明白品势是以手为主而构成的,品势竞技中用的腿法技术有前踢、旋踢、侧踢、后踢等基本踢法,但是根据攻击和防御目标腿法技术动作的变化多样,踢腿技术动作的变化也随之变得多种多样,跆拳道踢腿技术的选手们的柔韧性和恰到好处的力量分配,还有他们根据目标物的距离和高度应用的动作也是多样化的。基本腿法中的侧踢是说从正面前腿作支撑,后腿向旁边踢出,是踢法中最有威力的,也是最要求熟练度技术的,品势选手们大部分的侧踢是要在脸部以上,站立脚和踢出脚要在一条直线上。侧踢是很要求熟练度和技术能力的腿法,在实际品势竞技比赛中,参加比赛的很多选手都曾说过侧踢很难,品势比赛时往往因侧踢技巧的差异分出胜负是很常见的。

随着这几年品势比赛的迅速发展,选手和指导团队也越来越多,但是跆拳道的大部分研究都是局限在跆拳道竞技对抗或者哲学等方面研究,品势竞技时所需要的技术性部分的研究还很不足。在借鉴文献[1-11]相关研究方法的基础之上,本研究重点研究品势侧踢动作的生物力学分析。

1 研究方法对象

1.1 研究对象

本研究中作为跆拳道品势竞技中要求熟练性和技术力的侧踢,是以跆拳道优秀选手和非优秀选手为研究对象。优秀选手是来自韩国龙仁大学的跆拳道师范团的有获奖经历的跆拳道优秀选手3名;(本人在韩国龙仁大学攻读博士期间一直跟队调研并参与竞技团与师范团训练,龙仁大学跆拳道竞技团与师范团主要是参加奥运会、世界跆拳道锦标赛和韩国全国跆拳道锦标赛并与世界各个国家进行示范表演而组建,队员代表了韩国跆拳道的最高水平,2012年伦敦奥运会前跆拳道选拔,龙仁大学有8名队员参加,4名队员获得参加2012年奥运会跆拳道比赛资格)非优秀选手则选定了一般训练学生3名。

研究对象的身体特征如表1所示。

1.2 实验工具与方法

本研究利用韩国龙仁大学力学实验室进行,使用影像拍摄及分析装备和地面反力测定装备,肌电图测定

收稿日期:2014-11-26;修回日期:2015-03-27。

基金项目:国家社会科学基金(12BTY051);国家体育总局武术研究院课题(WSH2013D016);河南师范大学博士科研启动课题。

作者简介:唐守彦(1979-),男,山东梁山人,河南师范大学讲师,博士,研究方向为武术、跆拳道等,E-mail:124333156@qq.com。

装备,协助装备等道具实施研究.

表1 身体特征

类别	选手	身高/cm	体质量/kg	经历/Cr	年龄/a
优秀选手	A	175	68	6	22
	B	173	61	7	22
	C	173	64	6	22
Mean±SD		173±0.67	64±0.33	6±0.33	22±0.00
非优秀选手	D	173	66	7	21
	E	171	63	8	21
	F	178	74	12	23
Mean±SD		174±0.00	67±0.67	9±0.00	21±0.67

1.2.1 影像拍摄和分析装备

影像拍摄中使用了7台高速摄像机,摄像机的特点是68万 Progressive Scan CCD方式不仅可以录制出高清画质,而且通过 Digital 200 倍聚焦可远距离测定,摄像机的拍摄速度设定成 500frame/s. 反光马克球的粘贴,包括关节定位点及追踪点.

1.2.2 地面反力器和辅助板

使用了应变标准尺寸的测力台. 对于附在 X,Y,Z 三侧的3个力矩成分 M_x, M_y, M_z , 可以同时测定,可以算出 X,Y,Z 三侧的力量成分和测力台上的压力中心的位置和力矩. 辅助板为了不给地面反力器的安全和测验对象的动作完成带来负担,使用了和地面反力器相同大小的辅助板.

1.2.3 肌电图分析系统

肌电图的频率范围设定在 20~500 Hz 之间,增加通过 8 波段输入的模拟肌电图信号,数字信号的变换是利用 14 比特模拟数字转换器(14Bit Analog-Digital Converter)进行的转换. 被转换的信号从光缆转换到 USB 的装置就是 TT-USB, 利用它连接分析用电脑进行收集资料. 通过 256 Hz 取样收集的资料输入信号范围是 0~400 μV , 收集资料的误差范围是 $\pm 5\%$, $\pm 0.3 \mu\text{V}$. 收集的资料通过 MyoResearch XP 软件处理.

1.2.4 协调系统

通过外部触发器,能够输入影像分析系统,肌电图分析系统,地面反力测定系统中的电子信号,同时也通过此信号,使各系统中获取的资料更加协调.

1.2.5 资料分析道具

使用 3DXP 来比较分析影像和地面反力,肌电图装备使用以 EMG 信号获取的肌电图资料和肌电图分析系统进行分析. 图表的制作,变因分析,差异查证则是由 Excel 2007, SPSS18.0 计划进行比较分析.

1.2.6 动作顺序与区间设定

跆拳道品势侧踢动作,共分成了3个阶段和4个动作.如图1所示.

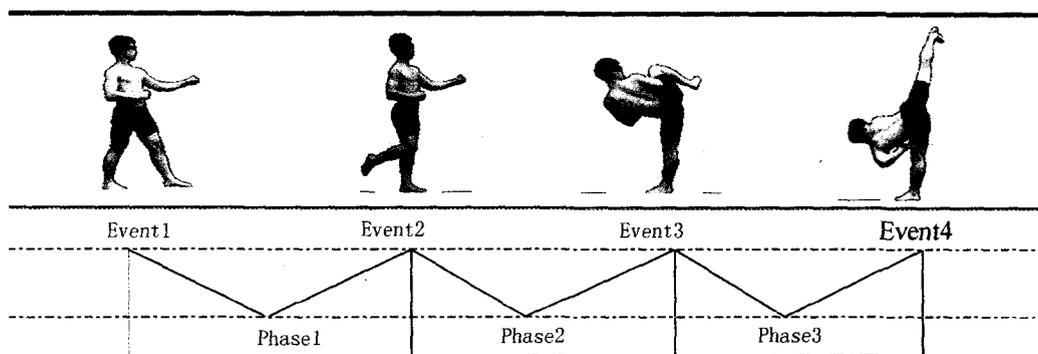


图1 区间设定

(1)阶段(Phase). 1 阶段:从准备姿势到踢出脚离开地面的瞬间(P1). 2 阶段:踢出脚离开地面,膝关节形成最小角度的瞬间(P2). 3 阶段:从最小角度到击到目标物的瞬间(P3).

(2)动作(Event). E1:动作开始前的准备姿势. E2:动作时踢出脚落回地面的瞬间. E3:踢出脚的膝关节角度变为最小角度的瞬间. E4:踢出脚到达目标物的瞬间.

2 研究结果

本研究是关于跆拳道侧踢动作的运动学分析,以3名优秀选手和3名非优秀选手为对象比较分析 EVENT 动作得出的所需时间、身体重心的位置变化、身体重心的速度变化等.

2.1 所需时间

有关侧踢动作所需时间,从准备到接触到目标物 EVENT 所需时间如表2所示.

表2 身体重心的时间变化 (s)

类别	选手	E1	E2	E3	E4
优秀选手	A	0.00	0.15	0.42	0.72
	B	0.00	0.08	0.52	0.72
	C	0.00	0.18	0.35	0.73
Mean±SD		0.00±0.00	0.14±0.05	0.43±0.08	0.72±0.01
非优秀选手	D	0.00	0.22	0.57	0.93
	E	0.00	0.13	0.57	0.77
	F	0.00	0.27	0.70	0.87
Mean±SD		0.00±0.00	0.21±0.07	0.61±0.08	0.86±0.08

表2中跆拳道侧踢动作时总的需要时间,你会发现优秀选手平均为(0.72±0.01) s,非优秀选手为(0.86±0.08) s,优秀选手团队快了0.14 s.

Event 所需时间从踢出脚离开地面的一瞬间(E2)算,非优秀团队平(0.21±0.07) s,优秀团队实施动作需要(0.14±0.05) s,从动作开始就出现了差距.特别是观察踢出脚离开地面瞬间(E2)开始到膝关节角度变为最小角的瞬间(E3),优秀团队比非优秀团队变化快0.4 s以上.因此踢出脚到冲击目标物时(E4)变化度的优秀选手团队的快速变化出现了持续进行.

整体上来看,从准备脚离开地面的区间需要时间最长,之后优秀团队出现类似的变化,但非优秀团队在第2阶段踢出脚离地到形成膝关节最小角度瞬间为止时间要长0.4 s.

2.2 身体重心位置的变化

2.2.1 身体重心前后位的置变化

身体重心位置变化运动进行方向设定为X轴,结果如表3所示.整体观察身体重心的前后方向来看,从准备姿势(E1)到动作完成优秀选手团队移动了31.6 cm,非优秀选手团队移动了32.57 cm,显示出非优秀选手团队有更多的移动变化,观察Event可以看出准备姿势优秀选手团队(36.66±21.37) cm,非优秀团队为(57.17±5.30) cm,非优秀选手团队更向前方实施移动动作.踢出脚从离开地面的瞬间两个团队都展现了小的移动变化,踢出脚变为最小角度的瞬间(E3)优秀团队用了(58.07±26.46) cm,非优秀退队用了(85.26±4.50) cm,显示出非优秀选手更靠前方约4 cm.踢出脚的冲击瞬间(E4)优秀选手团队(68.26±26.18) cm,非优秀选手团队(91.74±7.73) cm,优秀选手移动了10.19 cm,非优秀选手移动了6.48 cm.

表3 身体重心的位置变化 (cm)

类别	选手	E1	E2	E3	E4
优秀选手	A	20.20	29.98	42.80	53.91
	B	60.81	64.97	88.63	98.48
	C	28.97	36.83	42.79	52.39
Mean±SD		36.66±21.37	43.93±18.54	58.07±26.46	68.26±26.18
非优秀选手	D	54.21	65.33	84.70	97.57
	E	63.29	72.32	90.01	94.68
	F	54.00	62.97	81.07	82.98
Mean±SD		57.17±5.30	66.87±4.86	85.26±4.50	91.74±7.73

2.2.2 身体重心上下位置的变化

身体上下位置运动方向设定为Y轴,结果如表4.

表4 身体重心上下位置的变化 (cm)

选手	E1	E2	E3	E4	
	A	96.19	96.71	98.29	83.56
优秀选手	B	99.641	98.18	106.49	99.51
	C	94.71	98.16	101.38	86.25
Mean±SD		96.85±2.53	97.86±0.84	102.05±4.14	89.77±8.54
	D	595.30	91.86	98.64	80.86
非优秀选手	E	93.60	94.47	100.77	97.64
	F	94.97	93.39	100.67	92.34
Mean±SD		94.62±0.90	93.24±1.31	100.03±1.20	90.21±8.69

通过Event观察身体重心的上下位置变化,准备姿势(E1)优秀选手团队(96.85±0.90)cm,非优秀选手团队(94.62±0.90)cm准备姿势高度变化没有太大差异.踢出脚离地瞬间(E2)优秀选手团队(97.68±0.84)cm,非优秀选手团队(93.24±1.31)cm,可以看出非优秀选手团对从动作开始重心位置向下移动.踢出脚膝关节角度达到最小角瞬间(E3)优秀选手(102.05±4.14)cm,非优秀选手(100.03±1.20)cm,出现了全体动作中最高位置.踢出脚到达目标物的瞬间(E4)优秀选手团体(89.77±8.54)cm,非优秀选手团队(90.21±8.69)cm出现了最低位置.

2.2.3 身体重心左右位置变化

身体重心左右的位置变化方向设定为Z轴,结果如表5所示.

表5 身体重心的左右位置变化 (cm)

选手	E1	E2	E3	E4	
	A	102.38	98.86	93.59	93.36
优秀选手	B	98.09	96.78	87.43	86.56
	C	97.37	91.31		89.81
Mean±SD		99.28±2.71	95.65±3.90	90.40±3.09	89.91±3.40
	D	93.32	91.28	79.53	91.16
非优秀选手	E	100.68	103.00	95.95	95.15
	F	102.557	100.29	90.30	85.86
Mean±SD		98.85±4.88	98.19±6.14	88.59±8.34	87.39±7.12

观察有关左右方向(Z)的位置变化各Event可以看出,优秀选手团队从准备姿势到脚离开地面的瞬间出现移动变化,非优秀选手团队没有出现变化.另外优秀选手团队各Event出现了移动变化的幅度,非优秀选手团队第2阶段出现了移动变化.

2.3 身体重心速度的变化

2.3.1 身体重心前后速度的变化

跆拳道侧踢动作相关的各Event身体重心速度变化,如表6所示.

表6 身体重心速度的变化(X) (cm·s⁻¹)

选手	E1	E2	E3	E4	
	A	80.83	45.98	64.77	26.96
优秀选手	B	31.70	62.37	65.00	67.54
	C	15.41	40.63	32.85	22.30
Mean±SD		42.65±34.06	49.66±11.33	54.21±18.50	38.93±24.88
	D	22.80	62.55	70.04	10.72
非优秀选手	E	-15.28	122.79	7.95	53.07
	F	-11.28	69.69	42.84	7.24
Mean±SD		-1.25±20.93	85.01±32.91	40.28±31.12	23.68±25.51

观察侧踢动作时身体重心前后方向即运动进行方向的速度可以看出,动作开始前准备姿势(E1)优秀选

手团队为 $(42.65 \pm 34.06) \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,非优秀选手团队为 $(-1.25 \pm 20.93) \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$;动作时踢出脚在离开地面时的瞬间(E2)优秀选手团队 $(49.66 \pm 11.33) \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,非优秀选手团队 $(85.01 \pm 32.91) \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$;踢出脚的膝关节变为最小角度的瞬间(E3)优秀选手团队 $(54.21 \pm 18.50) \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,非优秀选手团队为 $(40.28 \pm 32.12) \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$;当踢出脚到达目标物的瞬间(E4)优秀选手团队为 $(38.93 \pm 24.88) \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,非优秀选手团队为 $(23.68 \pm 25.51) \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

2.3.2 身体重心的上下速度变化

有关跆拳道侧踢动作各Event身体重心的上下速度变化,如表7所示.

表7 身体重心的上下速度变化 (cm·s⁻¹)

选手	E1	E2	E3	E4	
优秀选手	A	-8.06	16.46	-44.56	-43.42
	B	8.32	-35.86	8.43	-77.92
	C	-12.62	40.77	4.00	1.23
Mean±SD		-4.12±11.01	7.12±39.16	-10.71±29.44	-10.04±19.68
非优秀选手	D	-11.72	-0.37	14.58	-31.03
	E	14.06	7.59	-13.01	-6.41
	F	50.99	-3.96	-0.19	-96.32
Mean±SD		17.78±31.52	1.09±5.91	0.46±13.81	-44.59±46.46

观察侧踢动作时身体重心上下方向即垂直方向的速度可以看出,优秀选手团队的准备区间是向负(-)方向的,非优秀选手团队的变化是向正方向(+)的,在E2到E4区间向下移动又向上发生了变化;相反,非优秀选手团队在从E1到E3之间是向下变化的,从E4的起点看是向上变化.

2.3.3 身体重心的左右速度变化

跆拳道侧踢动作各EVENT身体重心的左右速度变化如表8所示.

表8 身体重心的左右速度变化(Z) (cm·s⁻¹)

选手	E1	E2	E3	E4	
优秀选手	A	13.37	-39.50	-21.17	-1.79
	B	-3.74	-17.69	-41.93	2.62
	C	-4.83	-14.33	-29.05	9.14
Mean±SD		1.60±10.21	-23.84±13.67	-30.72±10.48	3.32±5.50
非优秀选手	D	27.02	-29.45	-5.01	1099
	E	15.73	-19.62	9.37	20.01
	F	-14.99	-10.09	28.37	29.69
Mean±SD		9.25±21.74	-19.72±9.68	10.91±16.741	20.23±9.35

观察跆拳道侧踢动作时身体重心左右方向速度可以看出,优秀选手团队在踢出脚离开地面到膝关节形成最小角度的瞬间(P3)是向着右边方向呈现速度变化的;非优秀选手团队只有在踢出脚离开地面的瞬间(E2)向着右边方向呈现速度变化的.

2.4 身体分节的角度变化

2.4.1 足关节角度变化

有关跆拳道侧踢动作踝关节角度变化如表9.足关节角度是脚和小腿分节之间形成的角度,大于90°为跖屈,小于90°为背屈.观察优秀选手和非优秀选手的平均左右侧足关节的角度变化会发现,左脚为踢出脚,右脚为支撑脚.动作时踢出脚落地瞬间(E2),虽未显示太大差异,但是踢出脚成最小角度的瞬间(E3)优秀选手左右侧均有差异.从这一视角来看,优秀选手团队两脚展现了跖屈形态,而非优秀选手团队左脚呈现了背屈形态.踢出脚到达目标物的瞬间(E4)优秀选手团队相比非优秀选手团队支撑脚为30°,踢出脚为8°,团体之间支撑脚呈现出很大的角度差异,且就全体观察发现优秀选手团队有跖屈角度变化.

表 9 足关节角度变化

(°)

类别	选手		E1	E2	E3	E4
优秀 选手	A	L	89.61	96.26	96.88	81.24
		R	105.21	109.84	111.81	109.69
	B	L	90.39	100.10	85.74	95.68
		R	100.50	102.29	114.99	84.98
	C	L	96.29	95.16	92.89	91.55
		R	96.09	111.68	105.29	114.75
Mean±SD	L	92.06±3.68	97.17±2.59	91.84±5.64	89.49±7.44	
	R	10.60±4.56	107.94±4.98	110.70±4.94	103.1±15.93	
非优秀 选手	D	L	84.36	91.40	92.41	80.38
		R	110.03	100.70	72.30	99.04
	E	L	93.17	104.50	91.52	84.12
		R	116.43	103.53	132.46	52.08
	F	L	78.39	98.47	76.79	80.31
		R	114.33	112.26	94.71	62.12
Mean±SD	L	85.31±7.44	98.12±6.56	86.91±8.77	81.60±2.18	
	R	113.60±3.26	105.50±6.03	99.82±30.40	71.08±24.73	

2.4.2 膝关节角度变化

有关跆拳道侧踢动作膝关节的角度变化如表 10 所示.

表 10 膝关节的角度变化

(°)

类别	选手		E1	E2	E3	E4
优秀 选手	A	L	172.44	131.40	69.12	175.74
		R	160.08	157.85	165.78	159.00
	B	L	169.39	168.37	86.50	173.68
		R	161.63	155.07	163.06	163.56
	C	L	158.98	101.69	69.35	171.85
		R	159.49	160.19	165.56	175.49
Mean±SD	L	166.94±7.06	133.82±33.41	74.99±9.97	173.76±1.95	
	R	160.40±1.11	157.70±2.56	164.80±1.51	166.02±8.52	
非优秀 选手	D	L	110.03	100.70	72.30	99.04
		R	168.82	158.77	103.53	171.46
	E	L	153.71	149.84	82.83	175.94
		R	134.06	141.94	148.37	62.12
	F	L	154.97	153.62	83.73	166.56
		R	159.75	148.76	160.23	166.38
Mean±SD	L	139.57±25.59	134.72±19.52	79.62±6.36	147.1±41.95	
	R	172.44	149.82±8.42	158.00±8.73	159.0±17.24	

膝关节角度是大腿和小腿之间的角,意味着弯曲和伸展.由表 10 可知,动作开始前准备姿势时,出现非优秀选手团队踢出脚先弯曲.动作时踢出脚落地地面的瞬间(E2)支撑脚未出现差异.踢出脚膝关节成为最小角度瞬间(E3)时出现了小于 90°的角,踢出脚到达目标物的瞬间(E4),非优秀选手团队的选手出现了没有伸展就打击到了目标物.特别是非优秀选手团队支撑脚从 E2 开始动作时保持弯曲状态.而且 D 选手做动作时不稳定,和其他选手相比差异很大.

2.4.3 股关节角度变化

有关跆拳道侧踢动作股关节的角度变化如表 11 所示.

股关节角度变化是说从股关节向膝关节的大腿分节之间的角度.开始动作前准备姿势优秀选手团队左右侧出现出现差异.动作时脚落回地面瞬间(E2)非优秀选手团队大概有 9°的关节差异出现,优秀选手团队无差异出现.踢出脚膝关节角度变成最小角瞬间(E3)踢出脚侧的股关节角度,非优秀选手团队为出现弯曲形态,踢出脚到达目标物的瞬间(E4)时踢出脚关节角度各个团队都出现了约 94°的弯曲姿势.

表 11 股关节角度变化 (°)

类别	选手	E1	E2	E3	E4		
优秀 选手	A	L	161.22	157.10	123.49	85.18	
		R	158.08	161.29	120.08	119.79	
	B	L	155.57	159.95	126.78	108.60	
		R	157.81	163.24	110.01	99.60	
	C	L	157.16	166.54	122.96	101.51	
		R	174.42	165.99	138.33	89.13	
Mean±SD	L	163.74±9.67	161.01±4.54	129.53±7.79	94.30±12.54		
	R	157.68±0.47	163.69±2.65	117.68±6.80	106.9±11.15		
非优秀 选手	D	L	165.86	166.52	131.32	72.62	118.14
		R	166.54	133.51	124.74		
	E	L	154.30	156.33	119.90	103.45	
		R	154.98	154.72	122.83	96.03	
	F	L	151.88	155.79	115.15	107.44	
		R	163.97	162.74	110.29	129.75	
Mean±SD	L	157.35±7.74	159.55±6.05	122.12±8.31	94.50±19.06		
	R	157.21±5.97	150.32±15.10	119.29±7.85	114.6±17.13		

3 结 论

1)品势侧踢时所需时间变化在第1阶段所需时间快速,增加了踢出脚的垂直力和推进力,并向第2阶段转移,第3阶段膝关节迅速最大化伸展正确地执行了侧踢动作。

2)品势侧踢时身体重心的位置变化,踢出脚离地到接触目标物之前,上体向右转动,位置能量转换成运动能量,身体重心提高且膝关节角度达到最大伸展后,重量重心向前放在支撑脚,从而减小身体平衡的晃动,正确完成侧踢动作。

3)品势侧踢时身体重心速度变化,准备姿势时身体重心向下,提高踢出脚推进力的同时旋转上体,身体的速度变化逐渐增加相反上体移动的范围减小,左右移动最小化,从而正确完成侧踢动作。

4)身体分节角度变化,从第1阶段开始提拉后脚跟向大腿直肌方向,提高推进力,在弯曲膝关节角度后,支撑脚形成最大角度的跖屈伸展,打击目标物时缓慢减小保持身体平衡,在第3阶段膝关节接近180°的最大伸展,同时支撑脚的股关节形成最小弯曲方能正确完成品势侧踢。

第3阶段支撑脚的右侧腓肠肌和右侧大腿直肌的高收缩性,提高了动作的稳定性很重要,同时使得膝盖最大伸展,动作稳定性在第3阶段踢出脚的膝关节形成最大伸展在打击目标物时保持身体的稳定,可以提高打击目标物的冲击力。

综合上述结果来看,第1阶段将后脚跟向大腿直肌方向快速提拉提高推进力弯曲膝关节角度后减小左右移动,形成最大角度跖屈伸展,打击目标物时缓慢减小保持身体平衡将重心放在支撑脚,第3阶段膝关节角度接近180°实现最大伸展同时踢出脚和支撑脚的股关节角度事项最小弯曲。而且支撑脚的右侧腓肠肌和右侧大腿直肌展现的高灵活性和品势动作侧踢动作的稳定有着密切关系,踢出脚的左侧大腿肱二头肌和右侧大腿直肌对打击目标物的冲击力有很大影响。

参 考 文 献

- [1] 马 岚. 竞技武术男子腾空摆莲540°接仆步动作生物力学分析[D]. 北京:北京体育大学,2014.
- [2] 巫金君. 优秀男子拳击运动员前手平勾拳生物力学分析西安体育学院[D]. 西安:西安体育学院,2014.
- [3] 高 明. 武术套路健将童通旋子转体720°起跳动作的生物力学分析[J]. 体育成人教育学报,2014(2):56-59.
- [4] 唐守彦. 跆拳道360°前旋踢动作的生物力学分析[J]. 广州体育学院学报,2014,34(5):88-93.
- [5] 李旭鸿,郝卫亚,于佳彬,等. 基于LifeMod对跳马过程中体操运动员落地垫动力学关系的计算机仿真[J]. 体育科学,2013,33(3):81-87.
- [6] 朱 东 郭志禹武术套路跳跃中旋风脚及连接难 deg 动作分析[J]. 上海体育学院学报,2008,32(1):44-51.
- [7] 苏健蛟. 鞭腿击打不同类型目标对支撑腿膝关节损伤的危险因素变量分析[J]. 沈阳体育学院学报,2015(3):126-131.
- [8] 王 磊. 山东省优秀女子跆拳道运动员下劈技术动作生物力学分析[D]. 济南:山东体育学院,2012.

- [9] 汪晓瑞,吴晓杰. 太极拳引起膝关节损伤及预防的生物力学分析[J]. 辽宁体育科技,2012(3):32-35.
 [10] 冀琳. 优秀跆拳道运动员后踢技术动作的生物力学分析[D]. 西安:西安体育学院,2012.
 [11] 宋渊. 陈式太极拳揽扎衣动作生物力学分析[D]. 北京:北京体育大学,2011.

Vital-Dynamic Analysis on Taekwondo Poomsae Yeopchag

TANG Shouyan

(College of P. E., Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: The research according to analysis on image of Poomsae Yeopchag and EMG, analysed the character of this movement and technical elements as well as muscle activity during side kick. It provided scientific resources, which gave the correct guidance to instructor and effective direction to the players to improve their competitive ability and skill.

Keywords: Taekwondo; Poomsae; Yeopchag; mechanics analysis

(上接第 126 页)

- [7] Guaradiola J, Iborra J L, Canovas M. A model that links growth and secondary metabolite production in plant cell suspension cultures [J]. *Biotec Bioeng*,1995,46(3):291-297.
 [8] 戚以政,夏杰. 生化反应工程[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
 [9] 贾士儒. 生物反应工程原理[M]. 北京:科学出版社,2003.
 [10] 张凯丽,郑晗青,邓晓敏,等. 酿酒酵母工程菌分批发酵产 UMP 动力学模型[J]. 食品工业科技,2015,36(9):158-161.
 [11] 汤斌,许钟源,李松,等. 匍枝根霉纤维素酶发酵条件优化及分批发酵动力学模型的构建[J]. 食品与发酵工业,2014,40(1):85-90.
 [12] 李雅丽,王红霞,杨英,等. 胀果甘草悬浮细胞中黄酮类化合物 HPLC 分析[J]. 食品研究与开发,2012,33(194):118-122.
 [13] Zhang C Y, Dong Y S, Li Y L, et al. Unstructured models for suspension cultures of *Taxus media* cells in a bioreactor under substrate-sufficient conditions[J]. *BIOCHEM ENG J*,2013,71:62-71.
 [14] 杨金水,黄建新. 动胶菌发酵生产聚羟基脂肪酸的动力学模型[J]. 化工学报,2006,57(7):1655-0657.
 [15] Gaden E L. Fermentation process kinetics[J]. *J Biochem Microbiol Technol*,1959,1(4):413-429.
 [16] 马挺,李京浩,李国强,等. 红球菌 DS-3 脱硫发酵动力学模型的建立[J]. 化工学报,2006,57(6):1418-1421.
 [17] 梁新红,孙俊良,赵瑞香,等. 嗜酸乳杆菌细胞生长数学模型的建立[J]. 江苏调味副食品,2006,23(5):11-13.

Non-structural Dynamical Mathematical Analysis of *Glycyrrhiza Inflata* Batal Cell Suspensions Culture System

MENG Tingting, GUO Hui, ZHENG Chunli, LI Yali

(School of Mathematics, Physics and Biology Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: Based on the establishment of a stable *Glycyrrhiza inflata* cell suspension culture system, dynamic changes about cell growth, substrate consumption and product synthesis in the system were analyzed. Using Excel 2013 and Origin Pro 8.0 software to process experimental data, model parameters, corresponding non-structural kinetic models were established. Analog value and experimental values were very consistent, the correlation coefficients were 0.968 46, 0.964 17, 0.975 64 respectively. This indicates the dynamic models can well predict suspension culture process of *Glycyrrhiza inflata* cell. This has important significance to guide the cell suspension culture in the reactor, and to provide a theoretical basis for the bioreactors design.

Keywords: licorice cells; suspensions; kinetics modeling; bioreactors