

·竞赛与训练·

全球定位系统跟踪足球运动员跑动距离的准确性实验

刘鸿优, 唐小明, 陈彦龙, 蒋振华, 毛万里

(华南师范大学 体育科学学院, 广东 广州 510006)

摘 要: 通过实验测试的方法, 对可穿戴全球定位系统(GPS Catapult Optimeye S5)在跟踪足球运动员的跑动距离的信效度进行检验。选取10名大学生足球运动员为实验对象, 分别以不同的速度完成了8组60 m 直线跑、50 m 转弯直线跑和40 m “Z 字型”折线跑。GPS跟踪到的每名实验对象每种测试的跑动距离分别为 (57.65 ± 2.76) 、 (46.19 ± 4.09) 和 (36.50 ± 2.59) m。GPS在跟踪60 m 直线跑时, 实验对象的测试平均次间 CV 为 0.03(0.01~0.05), 平均次间 SE 为 0.61(0.25~1.06), 平均 Bias 为 4.9%(1.8%~10.7%), 平均 SEE 为 2.4%(1.8%~3.0%); 在跟踪50 m 转弯直线跑时, 平均次间 CV 为 0.06(0.04~0.11), 平均次间 SE 为 1.05(0.63~1.76), 平均 Bias 为 8.4%(3.1%~17.3%), 平均 SEE 为 4.9%(2.2%~10.3%); 在40 m “Z 字型”折线跑时, 平均次间 CV 为 0.06(0.03~0.11), 平均次间 SE 为 0.79(0.42~1.51), 平均 Bias 为 9.5%(3.8%~14.4%), 平均 SEE 为 4.6%(3.0%~5.7%)。实验结果证明 GPS Catapult Optimeye S5 装备在跟踪足球运动员的跑动距离时具备足够的准确性, 跟踪到的运动员移动数据拥有足够的信效度用于科研与教练指导用途。

关键词: 竞赛与训练; 运动监控; 足球; 跑动距离; 全球定位系统

中图分类号: G843 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2018)01-0132-05

An experiment for varying the accuracy of a global positioning system tracking football players' running distances

LIU Hong-you, TANG Xiao-ming, CHEN Yan-long, JIANG Zhen-hua, MAO Wang-li

(School of Physical Education, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: By means of experimental test method, the authors verified the reliability and validity of Catapult Optimeye S5, a wearable global positioning system, tracking football players' running distances. The authors selected 10 university students as experiment objects, who completed 8 rounds of 60m straight line running, 50m turning straight line running and 40m Z-shape fold line running at different speeds. As tracked by the GPS, the experiment objects' running distances in the tests were (57.65 ± 2.76) m, (46.19 ± 4.09) m and (36.50 ± 2.59) m respectively. When the GPS tracked 60m straight line running, the experiment objects' average within-player CV was 0.03 (0.01~0.05), their average within-player SE was 0.61 (between 0.25 and 1.06), their average Bias was 4.9% (1.8%~10.7%), their average SEE was 2.4% (between 1.8% and 3.0%); when the GPS tracked 50m turning straight line running, the experiment objects' average within-player CV was 0.06 (0.04~0.11), their average within-player SE was 1.05 (between 0.63 and 1.76), their average Bias was 8.4% (between 3.1% and 17.3%), their average SEE was 4.9% (between 2.2 and 10.3%); when the GPS tracked 40m Z-shape fold line running, the experiment objects' average within-player CV was 0.06 (between 0.03 and 0.11), their average within-player SE was 0.79 (between 0.42 and 1.51), their average Bias was 9.5% (between 3.8% and 14.4%), their average SEE was 4.6% (between 3.0% and 5.7%). The experiment results prove that the GPS Catapult Optimeye S5 equipment is provided with adequate accuracy when it tracks football players' running distances, and the players' moving data it tracks have ade-

收稿日期: 2017-06-27

基金项目: 华南师范大学青年教师科研培育基金项目(16SK07); 广州市哲学社会科学“十三五”规划课题(2017GZYZB11); 广东省普通高校青年创新人才项目(2016WQNCX015)。

作者简介: 刘鸿优(1986-), 男, 副教授, 博士, 硕士研究生导师, 研究方向: 运动表现分析、足球训练监控等。E-mail: szu.youyou@hotmail.com

quate reliability and validity for the purposes of scientific research and coach guidance.

Key words: competition and training; sports monitoring; football; running distance; global positioning system

可穿戴的全球定位系统(Global Positioning System, GPS)可以跟踪运动员在训练和比赛中的移动距离、移动轨迹、移动速度和加速度等外部运动负荷变量,因而越来越受到运动队、教练员和科研人员的青睐^[1]。

最早专门运用于团体运动表现监控的 GPS 出现在 2003 年^[2],为澳大利亚 GPSports 公司生产的 GPSports Systems SPI-10,随后几年,该公司陆续改进并生产了 SPI-Pro、WiSPI 和 SPIelite 等版本。2006 年,澳大利亚公司 Catapult Innovation 陆续推出了 Catapult Minimix 系列和 Catapult Optimeye 系列可穿戴 GPS 设备。Catapult 公司生产的可穿戴 GPS 设备能提供更多的运动表现变量和更精确的算法,从而超越 GPSports,成为了体育运动表现监控专用 GPS 设备生产领域的主要供应商。

值得注意的是,要将可穿戴 GPS 设备运用于指导训练和科学研究,必须先对该设备跟踪获得的数据准确性和信效度进行验证,只有在数据足够准确的情况下,才能保证该设备的应用价值^[3-4]。目前,已有研究对 GPSports 的各个系列设备和 Catapult Minimix 系列设备进行了信效度与准确性实验验证^[1-8],而 Catapult Optimeye 系列设备在跟踪足球运动员跑动距离的准确性验证结果尚未见诸报道。因此,本研究拟通过实验测试的方法,对 Catapult Innovation 公司目前最新版本的 Catapult Optimeye S5 体育运动表现监控专用可穿戴 GPS 设备在跟踪足球运动员的跑动距离时的准确性和信效度进行实验验证。

1 研究方法

1.1 实验对象

华南师范大学 2014 级体育教育本科专业足球专选班学生 10 名(年龄 (23.1 ± 1.7) 岁,足球训练经验 (6.9 ± 4.6) 年,身高 (173.5 ± 4.2) cm,体质量 (67.9 ± 4.4) kg, BMI 指数 (22.6 ± 1.2) kg/m^2)被选取为本研究的实验对象。为保证实验的客观性,实验目的在实验测试实施前后均未告知实验对象。

1.2 实验过程

实验时间为 2016 年 6 月 15 日(温度 31°C ,相对湿度 92%),为华南师范大学 2014 级体育教育本科专业足球专选班 2015—2016 学年度下学期的一次足球专项课。实验地点为华南师范大学大学城校区北区足球场(天然草皮)。实验在征得实验对象运动员和任课教师的口头同意后进行。

参照前人对于足球跑动距离跟踪设备的信效度测

试实验设计^[6,9],本研究进行了 3 种类型的跑动跟踪实验(如图 1):60 m 直线跑:实验对象由图 1 中的起点(1)直线跑至终点(1);50 m 转弯直线跑:实验对象由图 1 中的起点(2)直线跑至 30 m 处,然后向左转弯,直线跑至终点(2);40 m “Z 字型”折线跑:实验对象由图 1 中的起点(3)沿箭头所示方向,跑至终点(3)。

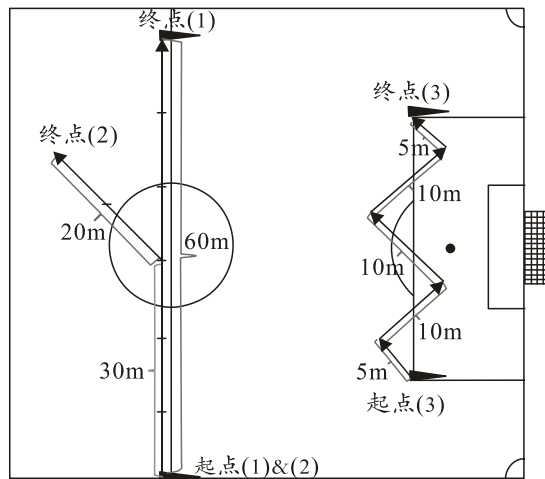


图 1 三种实验测试路线示意图

在完成必要的热身活动之后,10 名实验对象依次进行了 60 m 直线跑、50 m 转弯直线跑和 40 m “Z 字型”折线跑测试。在每一类型的测试中,每名实验对象重复跑 8 次,每次测试间隔为 30~60 s,实验对象被要求逐次加快跑动速度。为了最大限度地保证实验对象的跑动距离接近实际距离,实验对象被要求尽量贴近球场所划定的标志线跑动。在每类测试之间,实验对象有约 5 min 休息。在整个热身和测试阶段,所有实验对象始终佩戴 GPS Catapult Optimeye S5 装备。整个测试过程被高清摄像机以 25FPS 的频率摄制记录。

1.3 数据采集

通过软件“DV 视频时间码嵌入大师”将摄制的视频同步卫星时间。由 2 名实验人员对视频进行分析,记录下每一名实验对象在所有测试中通过起点和终点的时间。将两名实验人员采集的时间点进行比对,对差异较大的时间点进行录像回看,最终确认所有时间点的准确性。

通过 GPS Catapult Optimeye S5 装备配套的 Catapult Sprint 软件,将所有实验对象的跑动数据导入个人电脑。由 2 名实验人员将上述采集的每一名实验对象在每一次测试中通过起点和终点的时间录入软件中,截取由 GPS Catapult Optimeye S5 装备跟踪到的实验对象的跑动距

离。截取出来的 2 组数据逐个比对, 差异较大的数据再次截取, 直至两组实验人员获得的数据完全一致。

1.4 数据统计

由 GPS Catapult Optimeye S5 装备跟踪到的 10 名实验对象的 232 次测试跑动距离(一个实验对象因伤退出测试, 未能完成 8 组 40 m “Z 字型”折线跑)均被导入到 Excel 和 SPSS 软件中进行统计学分析。首先对 GPS 跟踪到的每名实验对象每次测试的跑动距离进行描述性分析。其次, 对每一类型的跑动测试中每名实验对象的测试次间变异系数(CV)、次间标准误差(SE)进行分析。最后, 对跟踪到的每名实验对象每次测试的跑动距离与球场实际距离的差值的测试误差(Bias, 为跟踪距离与实际距离的差值的绝对值除以实际距离的比值)和测试标准误差(SEE, 为 Bias 的标准差)进行分析。最后, 将每名实验对象在每类测试的 8 次测试跑划分为 4 个速度类别: 第 1~2 次为慢跑、第 3~4 次为中速跑、

第 5~6 次为高速跑、第 7~8 次为冲刺跑, 对 10 个 GPS 跟踪到的每名实验对象不同速度下的跑动距离的次间 CV、次间 SE、Bias 和 SEE 进行分析。

2 研究结果及分析

如表 1 所示, 在 60 m 直线跑测试中, GPS 跟踪到的每名实验对象每次测试的平均距离为 57.65 m, 标准差为 2.76 m。GPS 在跟踪 60 m 直线跑时, 实验对象的测试平均次间 CV 为 0.03(0.01~0.05)、平均次间 SE 为 0.61(0.25~1.06)、平均 Bias 为 4.9%(1.8%~10.7%)、平均 SEE 为 2.4%(1.8%~3.0%)。在慢跑、中速跑、高速跑、冲刺跑 4 个类别中的 CV、SE、Bias、SEE 分别为: 0.06、0.78、5.1%、3.8%; 0.04、0.49、4.3%、2.8%; 0.06、0.74、5.7%、4.6%; 0.04、0.55、5.1%、3.2%。实验对象以高速跑的速度完成 60 m 直线跑时, GPS 跟踪到的跑动距离的次间 CV、Bias 和 SEE 值最大。

表 1 GPS 设备跟踪足球运动员 60 m 直线跑的结果

实验对象	慢跑/m		中速跑/m		高速跑/m		冲刺跑/m		$\bar{x} \pm s$	CV	SE	Bias/%	SEE/%
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8					
1	56	59	59	56	59	59	55	57	57.50 ± 1.69	0.03	0.60	4.5	2.6
2	61	60	60	61	56	60	61	57	59.50 ± 1.93	0.03	0.68	2.3	2.4
3	65	61	57	61	61	63	62	61	61.38 ± 2.26	0.04	0.80	3.2	2.3
4	62	60	58	57	58	58	59	57	58.63 ± 1.69	0.03	0.60	2.7	1.8
5	59	59	59	58	58	59	60	58	58.75 ± 0.71	0.01	0.25	1.8	1.2
6	54	57	57	55	54	56	55	57	55.63 ± 1.30	0.02	0.46	6.8	2.3
7	55	58	59	58	55	55	57	58	56.88 ± 1.64	0.03	0.58	5.7	2.6
8	54	54	55	54	51	51	53	53	53.13 ± 1.46	0.03	0.52	10.7	3.0
9	53	57	56	56	54	54	56	58	55.50 ± 1.69	0.03	0.60	7.7	3.0
10	65	58	62	59	60	61	55	58	59.75 ± 3.01	0.05	1.06	3.2	3.0
平均	58.4	58.4	58.3	58.2	57.5	56.6	57.6	57.3	57.65 ± 2.76	0.03	0.61	4.9	2.4

如表 2 所示, 在 50 m 转弯直线跑测试中, GPS 跟踪到的每名实验对象每次测试的平均距离为 46.19 m, 标准差为 4.09 m。GPS 在跟踪 50 m 转弯直线跑时, 实验对象的测试平均次间 CV 为 0.06(0.04~0.11)、平均次间 SE 为 1.05(0.63~1.76)、平均 Bias 为 8.4%(3.1%~17.3%)、平均 SEE 为 4.9%(2.2%~10.3%)。在慢跑、中速跑、高

速跑、冲刺跑 4 个类别中 CV、SE、Bias、SEE 分别为 0.08、0.87、7.1%、5.6%; 0.06、0.63、7.1%、5.3%; 0.08、0.84、9.3%、7.0%; 0.10、1.00、10.5%、7.9%。GPS 在跟踪实验对象以冲刺跑的速度完成 50 m 转弯直线跑时, 跟踪到的跑动距离的次间 CV、SE、Bias 和 SEE 都出现最大值。

表 2 GPS 设备跟踪足球运动员 50 m 转弯直线跑的结果

实验对象	慢跑/m		中速跑/m		高速跑/m		冲刺跑/m		$\bar{x} \pm s$	CV	SE	Bias/%	SEE/%
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8					
1	50	47	50	44	46	37	39	41	44.25 ± 4.89	0.11	1.73	13.1	10.3
2	44	49	50	49	51	48	51	49	48.88 ± 2.23	0.05	0.79	3.1	3.5
3	49	47	50	45	48	44	49	47	47.38 ± 2.07	0.04	0.73	4.9	4.0
4	50	45	48	46	46	49	49	46	47.38 ± 1.85	0.04	0.65	4.9	3.6
5	53	49	48	47	51	48	53	46	49.38 ± 2.67	0.05	0.94	4.4	2.2
6	56	51	47	42	44	41	46	44	46.38 ± 4.98	0.11	1.76	10.9	4.9
7	43	44	46	45	47	46	43	42	44.50 ± 1.77	0.04	0.63	9.8	4.9
8	42	42	47	40	41	39	43	35	41.13 ± 3.44	0.08	1.22	17.3	6.6
9	52	43	46	44	45	45	40	46	45.13 ± 3.40	0.08	1.20	11.6	5.1
10	49	48	51	46	49	46	50	44	47.88 ± 2.36	0.05	0.83	4.2	4.2
平均	48.8	48.8	46.5	48.3	44.8	46.8	44.3	46.3	46.19 ± 4.09	0.06	1.05	8.4	4.9

如表 3 所示, 在 40 m “Z 字型”折线跑测试中, GPS 跟踪到的每名实验对象每次测试的平均距离为 36.50 m, 标准差为 2.59 m。GPS 在跟踪 40 m “Z 字型”折线跑时, 实验对象的测试平均次间 CV 为 0.06 (0.03~0.11)、平均次间 SE 为 0.79 (0.42~1.51)、平均 Bias 为 9.5% (3.8%~14.4%)、平均 SEE 为 4.6% (3.0%~5.7%)。

在慢跑、中速跑、高速跑、冲刺跑 4 个类别中 CV、SE、Bias、SEE 分别为: 0.05、0.44、9.2%、4.6%; 0.06、0.45、12.9%、4.8%; 0.08、0.68、6.7%、4.4%; 0.06、0.53、9.3%、5.6%。在 40 m “Z 字型”折线跑测试中, 实验对象跑动速度为慢跑时, GPS 跟踪到的跑动距离的次间 CV 和 SE 值最小。

表 3 GPS 设备跟踪足球运动员 40 m “Z 字型”折线跑的结果¹⁾

实验对象	慢跑		中速跑		高速跑		冲刺跑		$\bar{x} \pm s$	CV	SE	Bias/%	SEE/%
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8					
1	38	36	37	34	36	42	37	35	36.88 ± 2.42	0.07	0.85	9.1	3.5
2	36	37	34	37	41	40	40	36	37.63 ± 2.45	0.07	0.86	6.6	5.3
4	39	37	37	38	40	39	40	38	38.50 ± 1.20	0.03	0.42	3.8	3.0
5	37	34	34	36	37	37	39	35	36.13 ± 1.73	0.05	0.61	9.7	4.3
6	38	37	36	35	39	35	33	35	36.00 ± 1.93	0.05	0.68	10.0	4.8
7	37	32	36	36	44	44	39	35	37.88 ± 4.26	0.11	1.51	10.3	4.9
8	36	34	32	32	34	36	37	33	34.25 ± 1.91	0.06	0.67	14.4	4.8
9	39	34	35	33	38	39	36	37	36.38 ± 2.26	0.06	0.80	9.1	5.7
10	37	36	33	32	36	37	34	34	34.88 ± 1.89	0.05	0.67	12.8	4.7
平均	37.6	37.6	35.1	34.9	34.8	38.3	38.8	37.2	36.50 ± 2.59	0.06	0.79	9.5	4.6

1) 实验对象 3 因伤退出测试

3 讨论

随着科学技术的发展, 越来越多的视频分析技术和可穿戴设备被运用于辅助足球训练和开展相关科学研究。但是, 需要引起注意的是, 这些技术和设备首先必须保证其输出的数据足够准确的情况下, 才能保证它们在训练实践和科学研究的应用价值^[10]。现今, 可穿戴 GPS 设备已经在足球运动队、教练员和学者中被广泛应用^[2]。当前最主流的可穿戴 GPS 设备包括 GPSports 公司生产的 GPSports Systems SPI-10、SPI-Pro、WiSPI 和 SPIElite 等以及 Catapult Innovation 公司生产的 Catapult Minimax 系列和 Catapult Optimeye 系列设备^[2]。GPSports Systems SPI-10、SPI-Pro、WiSPI 和 SPIElite 和 Catapult Minimax 系列设备在足球等同场对抗项目的运动员跑动距离跟踪时的信效度和准确性已经得到国外学者的实验验证^[1-9], 而最新版本的 Catapult Optimeye 系列 GPS 设备的信效度则尚无相关实验检验。本研究通过实验测试的方法证明了 Catapult Optimeye S5 体育运动表现监控专用可穿戴 GPS 设备在跟踪足球运动员的跑动距离时拥有足够的准确性和信效度。

本研究实验结果显示, Catapult Optimeye S5 设备在跟踪足球运动员在 60 m 直线跑、50 m 转弯直线跑和 40 m “Z 字型”折线跑时, 跟踪到的距离都略低于实际距离(分别为 57.65、46.19 和 36.50 m)。这一结果与前人对 GPSports^[1]和 Catapult Minimax^[3-7]两类 GPS 设

备的信效度实验测试结果相符。由表 1、表 2、表 3 可以看到, 3 种类型的测试中, 第 1 次(T1)和第 2 次(T2)测试跑, GPS 跟踪到的距离都相对较接近实际距离, 而在之后的测试跑中, GPS 跟踪到的距离则相对浮动较大, 且基本上都低于实际距离。研究方法中已经提到, 在 3 种类型的测试中, 实验对象都被要求逐次加快跑动速度: 即 T1 和 T2 为慢跑, 之后速度逐步加快, 从中速跑、高速跑到冲刺跑递进。在 60 m 直线跑测试中, GPS 跟踪到的运动员高速跑的距离的次间 CV、Bias 和 SEE 值最大; 在 50 m 转弯直线跑测试中, GPS 跟踪到的运动员冲刺跑距离的次间 CV、SE、Bias 和 SEE 都出现最大值; 而在 40 m “Z 字型”折线跑测试中, Bias 和 SEE 的最大值出现在中速跑和冲刺跑, 次间 CV 和 SE 的最小值则出现在慢跑。由此可见, Catapult Optimeye S5 设备在跟踪足球运动员低速跑动时, 比在跟踪中速跑、高速跑和冲刺跑的准确性要更高。这一现象与前人研究结果^[1, 3, 5-7]契合。

本研究实验还显示, GPS Catapult Optimeye S5 设备在跟踪直线跑、转弯直线跑和“Z 字型”折线跑时, 精确度呈现下降趋势: 3 种测试平均次间 CV 分别为 0.03、0.06 和 0.06, 平均次间 SE 分别为 0.61、1.05 和 0.79, 平均 Bias 分别为 4.9%、8.4%和 9.5%, 平均 SEE 分别为 2.4%、4.9%和 4.6%。前人的研究发现了类似的现象^[1-3, 5-7]。Jennings 等^[5]和 Portas 等^[6]的研究认

为当测试次间 CV、Bias 和 SEE 小于 0.05(<5%)时, GPS 设备跟踪运动员跑动距离的精确度和信效度为优良; 在 0.05 和 0.1(5%~10%)之间时, 精确度和信效度为中等; 在大于 0.1(>10%)时, 精确度和信效度为较差。由此可见, 本研究结果证明, GPS Catapult Optimeye S5 设备在跟踪足球运动员直线跑时能实现优良的精确度和信效度; 而在跟踪转弯直线跑和“Z 字型”折线跑时, 精确度和信效度稍差, 介于优良与中等之间。

有一点需要指出的是, 本研究是采取将摄制的视频同步卫星时间的办法来确定运动员通过每一次测试起点和终点的时间点, 并采用这两个时间点从 GPS 中截取跟踪距离的。由于视频时间只能提供“HH : MM : SS (h : min : s)”的格式, 无法精确到 ms, 截取的时间段有较大的可能性出现误差(最大误差接近 2 s)。而当球员以较快的速度跑动时(如 8 m/s 的速度冲刺), 即使 1 s 的时间误差也能带来数米(如 8 m)的跟踪距离误差。因此, GPS 设备跟踪到的距离与实际距离的误差有可能是 GPS 设备的系统误差, 也有可能是本研究的时间截取方法导致的操作误差, 后续的研究可通过更精准的时间界定方法对此结果进行验证。

感谢上海灏江贸易有限公司(澳大利亚 Catapult Innovation 公司在中国大陆的优先供应商)对本研究提供的设备支持。

参考文献:

- [1] GRAY A J, JENKINS D, ANDREWS M H, et al. Validity and reliability of GPS for measuring distance travelled in field-based team sports[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2010, 28(12): 1319-1325.
- [2] AUGHEY R J. Applications of GPS Technologies to Field Sports[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2011, 6(3): 295-310.
- [3] PETERSEN C, PYNE D, PORTUS M, et al. Validity and Reliability of GPS Units to Monitor Cricket-Specific Movement Patterns[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2009, 4(3): 381-393.
- [4] CASTELLANO J, CASAMICHANA D, CALLEJA-GONZALEZ J, et al. Reliability and accuracy of 10 Hz GPS devices for short-distance exercise[J]. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2011, 10(1): 233-234.
- [5] JENNINGS D, CORMACK S, COUTTS A J, et al. The validity and reliability of GPS units for measuring distance in team sport specific running patterns[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 2010, 5(3): 328-341.
- [6] PORTAS M D, HARLEY J A, BARNES C A, et al. The validity and reliability of 1-Hz and 5-Hz global positioning systems for linear, multidirectional, and soccer-specific activities[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2010, 5(4): 448-458.
- [7] VARLEY M C, FAIRWEATHER I H, AUGHEY R J. Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2012, 30(2): 121-127.
- [8] CUMMINS C, ORR R, O'CONNOR H, et al. Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review[J]. *Sports Medicine*, 2013, 43(10): 1025-1042.
- [9] VALTER D S, ADAM C, BARRY M N, et al. Validation of Prozone: a new video-based performance analysis system[J]. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2006, 6(1): 108-119.
- [10] LIU H Y, HOPKINS W, GOMEZ M A, et al. Inter-operator reliability of live football match statistics from OPTA Sportsdata[J]. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2013, 13(3): 803-821.