Y1904827

Dissertation of Master, 2011

Univ. ID: 10269

Student ID: 51081000038

East China Normal University

Research on the change characteristic of the angle and angular velocity of the main joints during one-leg supporting phase of The Rotational Shot Put Technique to Zhang Jun

Department: Physical Education & Health College

Major: Physical Education and Training

Research Direction: Sports Training Theory and Practice

Advisor: Prof. Sun You-ping

Master Candidate: Qian Feng

May.2011

华东师范大学学位论文原创性声明

郑重声明：本人呈交的学位论文《张竣旋转推铅球单支撑阶段主要关节角度和角速度变化特征研究》，是在华东师范大学攻读硕士/博士（请勾选）学位期间，在导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确说明并表示谢意。

作者签名：钱锋　　日期：2011 年 5 月 20 日

华东师范大学学位论文著作权使用声明

《张竣旋转推铅球单支撑阶段主要关节角度和角速度变化特征研究》系本人在华东师范大学攻读学位期间在导师指导下完成的硕士/博士（请勾选）学位论文，本论文的研究成果归华东师范大学所有。本人同意华东师范大学根据相关规定保留和使用此学位论文，并向主管部门和相关机构如国家图书馆、中信所和"知网"送交学位论文的印刷版和电子版；允许学位论文进入华东师范大学图书馆及数据库被查阅、借阅；同意学校将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于（请勾选）

（　）1.经华东师范大学相关部门审查核定的"内部"或"涉密"学位论文，于　　年　　月　　日解密，解密后适用上述授权。

（√）2.不保密，适用上述授权。

导师签名　　本人签名钱锋

2011 年 5 月 20 日

钱 锋硕士学位论文答辩委员会成员名单

姓名	职称	单位	备注
周新华	教　授	华东师范大学	主席
熊　文	副教授	华东师范大学	
倪　刚	副教授	华东师范大学	

论 文 摘 要

采用多元线性回归分析的方法，对我国优秀男子铅球运动员张竣旋转推铅球技术单支撑阶段的主要关节角度和角速度进行了研究，筛选出对铅球成绩有显著影响的主要关节角度、角速度指标；从运用生物力学理论、运动学角度出发，分析了旋转推铅球技术单支撑阶段主要关节角度和角速度变化特征，目的在于，对张竣单支撑阶段的技术动作进行诊断，帮助其改进技术，促进其专项运动成绩的提高。本研究，对于丰富旋转推铅球技术的理论研究，促进运动训练学理论研究和运动生物力学研究的发展，都具有重要意义。

研究结论显示：

1、在张竣旋转推铅球的单支撑阶段，其右肩关节角度、左髋关节角度、右膝关节角度、右肩关节角速度、左髋关节角速度、左膝关节角速度等6个指标与铅球运动成绩有显著相关性。

2、在张竣旋转推铅球的单支撑阶段，主要关节角度的变化特征是：右肩关节角度先减小后增大；左髋关节角度先增大后减小；右膝关节角度先增大再减小。

3、在张竣旋转推铅球的单支撑阶段，主要关节角速度的变化特征是：右肩关节加速内收～减速内收～加速外展～减速外展～加速外展；左髋关节加速伸～减速伸～加速屈～减速屈～加速伸～减速伸～加速屈～减速屈；左膝关节减速伸～加速伸～减速伸～加速屈。

关键词：旋转推铅球；单支撑阶段；关节；角度；角速度；回归

ABSTRACT

On the kinematics, the research used the multiple regression to study the angle and angular velocity of joints during one-leg supporting phase of the rotational shot put technique with the elite shot-putter, ZhangJun as the research subject. This research selected the main and insignificant indicators of angle and angular velocity of joints, and analyzed the change characteristic of angle and angular velocity of the main joints during one-leg supporting phase of the rotational shot put technique from the view of Sports Biomechanics and Sports Theory, which is helpful to analyze the ZhangJun's technical movement during one-leg supporting phase, and improve the skill with the improvement of special athletic performance. Meanwhile, it has important implications not only for enriching the theoretical research of rotational shot put technique, but also for promoting the theoretical research of Sports Training Theory and Sports Biomechanics. The research results showed that,

1. During the one-leg supporting phase of the rotational shot put technique, we have found that there was a significant correlation between the movement performance and six indicators of the left shoulder joint angle, the left hip joint, the right knee joint angle, the left shoulder joint angular velocity ,the left hip joint angular velocity, and the left knee joint angular velocity.

2. During the one-leg supporting phase of the rotational shot put technique, the changing trend of ZhangJun's right shoulder joint angle is reduce first, then increase; the changing trend of the left hip joint angle and the right knee joint's angle are increase first, then reduce.

3. During the one-leg supporting phase of the rotational shot put technique, the variation law of the left shoulder's joint angular velocity is accelerated adduction ~ decelerated adduction ~ accelerated abduction ~ decelerated abduction ~ accelerated abduction. The change rule of the left hip joint's angular velocity is accelerated stretch ~ decelerated stretch ~ accelerated bend ~ decelerated bend ~ accelerated stretch ~

decelerated stretch ~ accelerated bend ~ decelerated bend. The change rule of the left knee's joint angular velocity is decelerated stretch ~ accelerated stretch ~ decelerated stretch ~ accelerated bend.

Key words: Rotational Shot Put Technique; one-leg supporting phase; joint; angle; angular velocity; regression

目 录

1 前 言 1
1.1 选题依据 1
1.2 文献综述 2
1.2.1 旋转推铅球技术的历史演变 2
1.2.2 国内外旋转推铅球研究现状 3
1.3 研究意义 11
2 研究对象与方法 13
2.1 研究对象 13
2.2 研究方法 13
2.2.1 文献法 13
2.2.2 访谈法 13
2.2.3 观察法 13
2.2.4 数理统计法 14
3 结果与分析 15
3.1 相关概念界定 15
3.2 主要关节角度、角速度与运动成绩的回归分析 16
3.2.1 开始时刻关节角度、角速度与运动成绩的回归分析 17
3.2.2 结束时刻关节角度、角速度与运动成绩的回归分析 22
3.3 主要关节角度和角速度的变化特征分析 28
3.3.1 右肩关节角度的变化特征分析 29
3.3.2 左髋关节角度的变化特征分析 31
3.3.3 右膝关节角度的变化特征分析 33
3.3.4 右肩关节角速度的变化特征分析 35
3.3.5 左髋关节角速度的变化特征分析 37
3.3.6 左膝关节角速度的变化特征分析 38
4 结 论 41

5 建　议 42
参考文献 43
附录一 作者攻读硕士学位期间参与的科研项目 47
附录二 作者攻读硕士学位期间发表的文章 48
后　记 49

1 前 言

1.1 选题依据

旋转推铅球是一项技术复杂、但发展潜力较大的投掷运动项目。国外专家根据现有的人体参数预测，利用旋转推铅球技术铅球运动成绩可达到26.82米，再加上合理的运动训练甚至可以达到30米，因此，旋转推铅球技术对提高铅球投掷成绩具有巨大的潜力。①

近年来，我国专家通过对旋转推铅球技术和背向滑步推铅球技术相关运动学参数进行对比后认为：旋转推铅球技术在运动员用力总距离、最后用力阶段人对铅球的做功距离、以及最后用力前铅球所获预先速度等方面，都要优于背向滑步推铅球技术，旋转推铅球技术要求运动员更加协调、灵敏，但对运动员的身高、体重的要求不如背向滑步推铅球技术那样苛刻，而我国铅球运动员身材相对矮小、体重较轻、爆发力较强等，因此，更适合运用旋转推铅球技术，更能取得理想的运动成绩。②③④

然而，纵观国内铅球的研究，关于背向滑步推铅球技术的研究很多，却很少聚焦于旋转推铅球技术的研究。现有的旋转推铅球技术研究，多集中在对旋转推铅球技术的历史演变研究、旋转推铅球的教学与训练研究、运用旋转推铅球技术的可行性分析等相对较浅层面的研究，很少有研究者对旋转推铅球技术进行诸如运动生物力学、运动生理学等方面的深入研究。

本研究是上海市体育局科研攻关与科技服务课题《优化上海市田径队男子铅球运动员专项力量训练方法的应用研究》的子课题，研究对象张竣是目前国内采用旋转推铅球技术为数较少的运动员之一，其运动成绩排名全国第一，近几年，张竣的专项运动成绩呈上升趋势。本研究之所以选择张竣旋转推铅球单支撑阶段的部分关节角度和角速度进行分析，主要是出于以下几方面的考虑：

1、旋转推铅球技术是一项非常复杂的技术，通常人们将其划分为双支撑阶

① 崇秀云，周家瑜. 铅球技术的发展与回顾[J]. 田径，1984，(2)：28-30
② 江涛. 在我国推行旋转式投掷铅球技术的设想[J]. 体育学刊，1995，(2)：87-88
③ 高峰，李晓芸. 中国铅球运动员运用旋转推铅球技术的优越性[J]. 浙江体育科学，2005，10：81-82
④ 闫永柱. 旋转式推铅球技术的优越性及其在我国适用性的探讨[J]. 山西体育科技，2007，27（4）：31-34

段、单支撑阶段、腾空阶段、过渡阶段以及最后用力阶段等五个阶段，这五个阶段是一个整体，前一阶段的动作质量好坏直接影响到下一阶段的动作质量，而单支撑阶段是旋转推铅球技术中最为关键的环节，在整个旋转推铅球过程中起到承上启下的作用；

2、在对教练员隋新梅的访谈中了解到，张竣旋转推铅球技术的主要问题是一转（也就是本研究所指的单支撑阶段）不好，由于此原因，张竣在比赛中技术表现的不够稳定，成绩时好时坏，犯规现象时有发生；

3、文献研究结果表明，人体关节角度直接描述动作姿态中每个关节的伸展和弯曲状况；角速度则是描述运动技术动作某个环节的运动快慢，它们的变化将直接影响旋转推铅球整个技术动作的稳定性，是分析评价运动技术动作的两个重要指标。[①]然而，现有旋转推铅球研究中，只有少量研究对关节角度进行简单的描述性分析，对关节角速度的研究报道尚未见到。

研究张竣旋转推铅球单支撑阶段主要关节角度和角速度变化特征，对丰富旋转推铅球的理论研究，解决张竣单支撑阶段的技术动作问题，促进其专项运动成绩的提高，都具有重要的理论意义和实践价值。

1.2 文献综述

1.2.1 旋转推铅球技术的历史演变

1966 年联邦德国理论家奈特（Netter）提出旋转推铅球技术，该技术类似旋转掷铁饼技术，其技术特点为："运动员背对投掷方向，上体稍前倾，身体以左腿为轴旋转 180 度，右脚落地后再旋转 360 度，最后将铅球投出。"[②]70 年代以来，美国、前苏联等国家也对旋转推铅球技术进行了不少理论研究和运动实践。1972 年，24 岁的前苏联运动员巴雷什尼克夫（Baryshnikov）在慕尼黑奥运会铅球比赛中首次采用该项技术，但由于技术不够成熟，他连及格赛的标准都没有达到，所以在当时并没有引起人们的关注。到了 1976 年，巴雷什尼克夫

① 刘北湘.运动生物力学：运动技术分析与评价[M].成都：四川科学技术出版社，2008：21-29
② 毛永，郑峰和何明等.推铅球技术的演变暨旋转式推铅球技术的要点和难点[J].山东体育科技，2002，24（1）：1-4

（Baryshnikov）在巴黎仍然采用旋转式推铅球技术以 22.00 米的优异成绩打破了当时美国运动员奥尔布里顿（Albritton）保持的世界纪录，而后又在蒙特利尔奥运会上以 21.00 米的成绩取得奥运会铜牌，从而真正展现了旋转推铅球技术的威力。1985 年世界田径锦标赛男子铅球决赛中已有近一半的运动员使用旋转推铅球技术，说明该技术的训练和使用已步入成熟阶段。当代旋转推铅球技术的杰出代表美国选手巴恩斯（Barnes），曾采用旋转推铅球技术，于 1990 年在西伍德以 23.12 米创造了新的铅球世界纪录，成为 20 世纪将铅球推得最远的人，这一成绩与他之前采用背向滑步推铅球技术的最好成绩（17.57 米）相比竟提高了 5.55 米。[①②]

这些年来，越来越多的铅球运动员逐渐开始在世界田径大赛中采用旋转推铅球技术，并取得了优异的运动成绩。在第 26、27、28 届奥运会和第 10 届世界田径锦标赛中，参加决赛的前八名运动员中有 50%以上运动员采用旋转推铅球技术。但在我国，采用旋转推铅球技术的运动员较少，在第十届全运会的男子铅球比赛中，只有 3 名运动员中使用了该项技术，[③]在第十一届全运会的男子铅球决赛 8 人中，仅有 1 人采用该项技术。国内女子铅球运动员至今尚未有人在正式比赛中使用旋转推铅球技术。

通过上述分析，我们知道，旋转推铅球技术发展至今已近 40 年，但在我国很少有人在正式比赛中使用此技术，可见该项技术有待更进一步在国内铅球训练、比赛中推广和运用。因此，加强对旋转推铅球技术的科学研究力度，对尽快提高我国的铅球运动技术水平和运动成绩意义重大。

1.2.2 国内外旋转推铅球研究现状

1.2.2.1 国外旋转推铅球研究

关于旋转推铅球教学的研究：美国南卡罗来纳大学田径助理教练哲学博士拉

---

① 刘明，金云和邢晓东.推铅球运动项目发展的回顾与展望[J].山东体育科技，2001，23（4）：5-8

② 熊西北，马明彩.田径中级教程运动技术教学理论与方法[M].北京：北京体育大学出版社，1999：259-264

③ 黄健，于军.国内男子铅球运动员使用旋转技术的现状分析及研究[J].辽宁体育科技，2007，29（1）：70-72

里·伍·贾吉（1994）在其训练教案中指出，旋转推铅球教学的关键应从规范的基本推铅球姿势练习和诸多掷铁饼的旋转技术练习出发，同时，他要求学生必须先掌握原地、滑步、背向滑步推铅球技术；再进一步掌握旋转推铅球技术。①

关于旋转推铅球训练的研究：美国克里斯·萨默劳特在诠释“旋转式”投掷铅球的技巧时，通过观察旋转推铅球运动员技术图片指出，旋转推铅球技术并非对每一位队员都能适用，要掌握旋转推铅球技术，还需要掌握其他技术要领，不能把该技术只看作是一种单一的、固定的模式。作为教练员，要积极引导队员正确地认识旋转推铅球技术的潜在优势：正确地运用旋转推铅球技术能增大投掷作用力。教练员必须循序渐进地指导队员进行训练，不可缺少耐心。②基里亚济斯（Kyriazis）等人通过对8名使用背向旋转推铅球技术以及8名使用背向滑步推铅球技术的铅球运动员进行研究发现，完成常规训练任务后，再进行半个小时的水中训练将更有利于发展旋转推铅球运动员的肌肉力量。测试结果表明：通过半年训练后，旋转推铅球运动员腿部肌肉增长幅度超过了背向滑步推铅球运动员，前者的腿部肌肉维度增长比后者大2～3厘米。由于肌肉力量和肌肉维度呈正相关，所以水中训练更有利于增加旋转推铅球运动员的肌肉力量。③

关于旋转推铅球的运动生物力学研究，研究者主要是从动力学或运动学角度出发进行研究。旋转推铅球动力学方面的研究主要有，肯·奥博森在对背向滑步技术与旋转技术的动作技术资料进行比较研究时发现，1.在旋转推铅球技术中，双支撑阶段开始转体时受左臂限制，要扭紧上体是非常困难的，同时，狭小的投掷范围迫使躯干直起，这些都可能不利于更好地发力；2.旋转推铅球技术受旋转力量的支配，是难于掌握的动作，而这恰恰又是该项技术成败的关键；3.在旋转推铅球技术中，不容易掌握最后用力的时机并充分利用旋转产生的离心力。④

关于旋转推铅球运动学方面的研究有，斯洛文尼亚学者米兰（Milan·Č）等对不同身高的旋转推铅球运动员的运动技术进行影像解析后表明，在侧视图中

---

① 拉里·伍·贾吉（美）著，刘曙，刘兵，程卫军译.旋转式推铅球的教学法[J].安徽体育科技，1994，(4)：40-43

② 克里斯·萨默劳特（美）著，曹皖苏译.“旋转式”投掷铅球的技巧[J].安徽体育科技，1986，(1)：61-63

③ Kyriazis, T. A., Terzis, G., Boudolos, K.,*et al.* Muscular Power, Neuromuscular Activation, and Performance in Shot Put Athletes At Preseason and at Competition Period[J].The Journal of Strength and Conditioning Research ,2009 (6) :1773-1779

④ 肯·奥博森著，余克望译.铅球背向滑步技术和旋转技术的比较研究[J].辽宁体育科技，1986，(3)：9-13

身材高大的运动员起始阶段和最后用力阶段的身体重心更高，而身材矮小的运动员起始阶段更稳更低，而且髋关节、膝关节的弯曲角度更大。在俯视图中，由于身材高大的运动员转动产生更大的惯量，身体重心就必须偏转产生转力矩来克服这个惯量，所以身材矮小的运动员重心运动路线更接近直线，并且较短。研究还发现，在侧视图中，身材高大的运动员器械的运动轨迹只有一个“低点”，而身材矮小的运动员出现了两个，且在最后阶段其高度比后者高出 23 厘米。在俯视图中，身材高大的运动员的轨迹更长，而后者的轨迹却只包括有在第一双支撑阶段、第一单支撑阶段和腾空阶段。[①]帕姆 1990 年对克雷瓦德旋转推铅球运动技术进行运动生物力学分析，表明铅球旋转速度的本质不仅仅取决于对铅球速度和轨迹的测量，动量和动能并不随着铅球运行速度的下降而下降。[②]德国的鲍里斯（Bartonietz）在 1990 年利用影像解析法，对美国著名旋转推铅球运动员巴恩斯（Barnes）进行技术研究，他对巴恩斯（Barnes）和其他背向滑步推铅球运动员的技术图像进行比较分析后发现，采用旋转推铅球技术在发挥运动员动作速度方面比背向滑步推铅球技术更具有优势，但他同时提示，不是所有铅球运动员都适合采用旋转推铅球技术，对那些平衡能力不是很好的铅球运动员就不易采用此项技术。[③]

关于旋转推铅球其它的一些研究主要包括，美国学者麦克尔·杨（Michael Young）把背向滑步推铅球和旋转推铅球的动作划分作了对比研究，把旋转推铅球过程分成准备阶段、腾空阶段、过渡阶段和完成阶段，并把过渡阶段和完成阶段视为推球阶段。[④]俄罗斯投掷教练巴卡里诺夫提出，旋转推铅球技术阶段划分与掷铁饼技术相同，包括双支撑进入旋转阶段、单支撑进入旋转阶段、腾空（或无支撑）阶段、单支撑和双支撑最后阶段（最后加速）。[⑤]斯洛文尼亚学者米兰（Milan·Č）在划分旋转推铅球技术阶段时，参考掷铁饼技术阶段划分，将旋转推铅球技术分为双支撑进入旋转、单支撑进入旋转、腾空或无支撑阶段、单支

---

① Milan, Č.,Matej, S., Stanko, Š.,*et al.* Biodynamic Analysis of the Rotational Shot Put Technique[J].Track Coach,181:5769-5775

② 帕姆. 关于旋转推铅球的生物力学分析[J]. 国外体育科技，1991，(4)：18-20

③ Bartonietz. Australian Institute of Sport [M].Unpublished Translation,1990

④ 张英波. 投掷名家论旋转推铅球②[J]. 田径，2000 (4)：35-37

⑤ 张英波. 投掷名家论旋转推铅球②[J]. 田径，2000 (4)：35-37

撑和双支撑最后发力阶段。[①]

通过上述国外关于旋转推铅球的研究，我们发现，国外关于旋转推铅球的研究在教学和训练方面的研究并不多，主要集中在旋转推铅球的运动生物力学研究上。在这些研究中，有不少专家采用了较为先进的影像解析技术，采用的指标主要是与铅球运动成绩直接相关的铅球速度、用力持续时间、身体重心高度、关节角度等，但没有对关节角速度等进行分析。实际上，运动员关节角速度直接影响铅球速度、用力持续时间、身体重心高度、关节角度、关节角速度等。关于旋转推铅球技术的优劣性，各专家意见也不一致，我们认为，从理论层面来讲，旋转推铅球技术更有利于铅球运动成绩的提高，但是，我们不能单从运动成绩或理论层面下结论，还需要结合运动员的实际情况来选择何种推铅球技术。

1.2.2.2 国内旋转推铅球研究

在国内，也有许多学者从不同视角对旋转推铅球技术进行了研究，综观这些研究，大体归纳为以下几个方面：

关于旋转推铅球教学的研究主要有，张英波（2005）提出背向旋转推铅球技术的学习步骤：建立正确的旋转推铅球技术概念—持球方法—预摆—进入旋转和摆动腿落地支撑—旋转形成最后用力预备姿势—完整技术练习。[②]刘涛，于军（2006）根据旋转推铅球技术特点，将学习旋转推铅球技术分为五个环节：学习双腿支撑起转技术；学习右脚离地做单支撑旋转至右脚落地技术；学习背向旋转成双腿支撑最后用力前预备姿势；改进和提高完整旋转技术；学习旋转与最后用力衔接技术。[③]申伟华（2007）提出，旋转推铅球技术前三分之二采用旋转掷铁饼的步法，最后用力动作与背向滑步推铅球技术类似。旋转推铅球技术的教学步骤是：引导练习；原地推铅球；背向滑步推铅球；旋转推铅球。准备采用旋转推铅球技术的运动员首先需要学习旋转掷铁饼技术，然后在铅球投掷圈内徒手练习旋转技术，再进行旋转推轻球练习，最后选择适合其年龄重量的比赛铅球做完整

① Milan, Č.,Matej, S., Stanko, Š.,*et al.* Biodynamic Analysis of the Rotational Shot Put Technique[J].Track Coach,181:5769-5775

② 张英波. 现代田径运动训练方法[M]. 北京：北京体育大学出版社，2005：177-180

③ 刘涛，于军. 青少年铅球运动员旋转技术分析与训练[J]. 体育师友，2006（4）：22-23

练习。同时他还指出了一些旋转推铅球技术学习中的常见错误与纠正方法以及如何进行教学评价。[①]黄昌美等几位学者（2009）对湖南科技大学体育学院体育教育专业女生田径普修旋转推铅球技术进行了实验研究，结果表明：旋转推铅球技术成绩明显优于背向滑步推铅球技术，他们认为在体院田径普修中实施旋转推铅球教学，更有利于提高学生的运动技术能力，因而在田径专选中更值得运用和推广。建议将旋转推铅球技术纳入学校体育的教学大纲中，建议各级研究机构和学校要大胆实施这一技术，尽早建立一套适合自己特色的旋转推铅球技术的训练理论和体系。[②]刘瑞江（2000）在他的硕士学位论文中以山东师范大学体育学院 1999 级两个男生班共计 44 人为实验对象，进行旋转推铅球技术和背向滑步式推铅球技术的对比教学，从运动生物力学角度对旋转推铅球技术进行了综合评价，认为旋转推铅球技术要优于背向滑步推铅球技术，并提出应该在体育教学训练中引进旋转式推铅球技术。[③]

关于旋转推铅球训练的研究主要包括，张英波（2005）在《现代田径运动训练方法》中提出了 6 种旋转推铅球技术的专门力量练习手段：双手抛掷铃片；杠铃抡摆；抱头转体起；扶栏杆转髋；肩负杠铃片原地旋转一周；持铅球连续旋转。[④]刘剑锋（2006）采用影片解析法等，对训练前后所测试的运动员试掷数据进行对比分析，探讨改进运动员旋转推铅球技术的训练手段及其对提高运动员旋转推铅球技术的作用效果，得出以下结论：1. 通过双脚在投掷圈内落点位置的针对性训练，学生的旋转推铅球技术得到了改进、成绩得到了提高；2. 通过提高身体协调和平衡能力，学生铅球成绩发挥更加稳定；3. 通过加强训练学生正确的左侧支撑技术和头部姿势，学生的投掷技术有了明显的改进；4. 通过控制学生旋转时摆动腿的摆动以及身体重心起伏，学生的旋转推铅球技术的稳定性得到提高。[⑤]通过对文献的整理，我们尚未发现有研究者对旋转推铅球训练计划、训练负荷以及训练监控等方面进行研究。

---

① 申伟华. 英汉对照田径双语教材[M]. 湘潭：湘潭大学出版社，2007：266-287
② 黄昌美，刘刚和李梦龙等. 背向旋转推铅球技术在田径普修中的实验研究[J]. 吉林体育学院学报，2009，25（4）：45-46
③ 刘瑞江. 旋转推铅球技术之研究[D]. 硕士学位论文，山东师范大学，2000
④ 张英波. 现代田径运动训练方法[M]. 北京：北京体育大学出版社，2005：177-180
⑤ 刘剑锋. 对旋转推铅球训练手段效果的实验研究[D]. 硕士学位论文，北京体育大学，2006

关于旋转推铅球运动生物力学等方面的研究，张宝峰，李风雷（2003）通过影像解析对旋转推铅球技术与背向滑步推铅球技术比较，发现旋转推铅球技术能够达到更加理想的肌肉用力条件，为运动员提供了进一步提高运动成绩的可能性。[①]张怀金（2003）通过对第 26 届、第 27 届奥运会男子铅球比赛的现场录像进行技术动作分析，得出以下结论：旋转推铅球能增加预先加速距离和最后用力工作距离，并能充分拉长最后用力的肌群，有利于肌肉爆发式收缩，适合不同身材的选手。同时认为，旋转推铅球技术较背向滑步推铅球技术的空间和时间技术特征更为复杂，因此不易掌握旋转推铅球的技术动作。[②]

台湾三名学者用两台高速摄像机同步记录台湾的两名男子旋转推铅球运动员的技术，并进行运动生物力学分析，再与世界高水平运动员进行比较，发现两名运动员的投掷速度明显低于世界高水平运动员的投掷速度，2 号测试者的肩髋夹角比 1 号测试者更大，2 号测试者的投掷路径比 1 号长；两名测试者与世界高水平运动员相比，在右脚单支撑阶段速度变化较小。[③]张英波（1994）将旋转推铅球技术与背向滑步推铅球技术进行生物力学参数对照，分析旋转推铅球技术的特点后指出，旋转推铅球技术使铅球的加速路线更长，投掷动作更有节奏感，身材和力量相对较小的运动员使用该技术也能取得好成绩。但对人体的平衡能力、旋转加速能力以及双腿的协调用力能力都提出了更高的要求。[④]也有很多研究对两种技术进行比较后指出：背向滑步推铅球技术已经非常完善了，要想在滑步过程中进一步增加用力距离、提高滑步速度等方面的潜力已经很有限了，而旋转推铅球技术能获得较长的“助跑”距离，使铅球获得更大的初速度；旋转推铅球技术的肩轴平均转动角速度大于背向滑步推铅球技术；旋转推铅球技术更适合于身材相对较小的运动员。[⑤⑥]文世林（2009）在对我国两名优秀男子铅球运动员进行三维运动学分析时采用大腿夹角、肩髋夹角、左髋关节角度、右髋关节角度、左

① 张宝峰，李风雷. 旋转推铅球技术优势的生物力学分析. [J]首都体育学院学报，2003，18（2）：76-77
② 张怀金，胡金平. 对男子旋推铅球技术优点的研究[J]. 山东教育学院学报，2003，(3)：105-106
③ Hsiente, P., Chenfu, H. & Channeng, K. Dynamics of The Shoulder and Elbow Joints of The Throwing Arm During Rotational Shot Putting - Case Study[EB/01].http://www.ntnu.edu.tw/acad/docmeet/
④ 张英波. 旋转式推铅球技术特点及其与背向滑步推铅球技术生物力学参数对照[J]. 田径，1994，(4)：5-6
⑤ 刘明，金云和邢晓东. 推铅球运动项目发展的回顾与展望[J]. 山东体育科技，2001，23（4）：5-8
⑥ 张沁. 旋转推铅球技术优势与亚洲铅球运动发展[J]. 重庆文理学院学报（自然科学版），2006，5（3）：34-36

膝关节角度、右膝关节角度、左踝关节角度、右踝关节角度、两脚距离、左脚重心距离、右脚重心距离、球速、重心速度、左髋速度、右髋速度、左肩速度、右肩速度等 17 个指标，对旋转推铅球技术进行了三维运动学分析，并构建了一系列整体与环节运动学指标及技术参数，既总结了张竣和赵中军两人的技术特征与问题，又对今后我国运动员旋转推铅球技术的进一步推广与研究奠定了新的研究基础。[①]

关于旋转推铅球运动生理学方面的研究，只有孙有平等人（2010）采用遥测肌电测试与影像解析同步的方法，对我国优秀旋转推铅球运动员张竣进行技术诊断，找出张竣旋转推铅球技术单支撑阶段、过渡阶段和最后用力阶段的主要用力肌肉和主要用力肌肉的用力顺序、用力范围以及它们之间的协调关系。[②③]

关于旋转推铅球其它一些研究：有关旋转推铅球技术阶段划分方面的研究主要有，刘瑞江（2000）在研究中将旋转推铅球技术划分为：握持球、预备姿势、预摆、旋转、最后用力和出手后的平衡。[④]山东体育学院毛永等（2002）通过研究总结出旋转推铅球技术应包括以下几个环节：持球、预备姿势、预摆、旋转（双腿支撑起转、单腿支撑旋转、腾空旋转）、过渡阶段、最后用力及球出手后的平衡。文世林（2009）在对我国两名优秀男子铅球运动员进行三维运动学分析时将旋转推铅球技术分为 6 个时空点和 3 个运动阶段：P_1预摆肩髋最大夹角时空点～P_2右脚离地时空点（预摆加速阶段）；P_3左脚离地时空点～P_4右脚着地时空点（旋转阶段）；P_5左脚着地时空点～P_6出手时空点（最后用力阶段）。[⑤]

江涛（1995）从力学角度对旋转推铅球技术进行了分析，认为该技术比背向滑步推铅球技术出手更快，双腿支撑效果更好，最后用力时间更短。根据中国运动员的身材特点，采用旋转推铅球技术更有利于提高中国铅球运动员的运动成

---

① 文世林.我国两名优秀男子铅球运动员旋转推铅球技术的三维运动学分析[D].硕士学位论文，首都体育学院，2009

② 孙有平，隋新梅和钱风雷等.基于 sEMG 的男子旋转推铅球运动员单支撑阶段肌肉用力特征研究[J].体育科学，2010，30（1）：44-50

③ 李延军，孙有平和隋新梅等.旋转推铅球过渡阶段肌肉用力特征的 sEMG 分析[J].北京体育大学学报，2010，,3（5）：50-54

④ 刘瑞江.旋转推铅球技术之研究[D].硕士学位论文，山东师范大学，2000

⑤ 文世林.我国两名优秀男子铅球运动员旋转推铅球技术的三维运动学分析[D].硕士学位论文，首都体育学院，2009

绩。[①]陈道裕等（2002）在探讨旋转推铅球技术对我国运动员的适用性时指出，不同身高、体重、专项能力的铅球运动员都适合使用旋转推铅球技术，我国铅球运动员的相关专项素质（如卧推、挺举、深蹲、抓举立定跳远、立定三级跳远等）已经接近国外采用旋转推铅球技术的铅球运动员。但是和国外铅球运动员的比赛成绩的差距较大，原因之一在于我国运动员采用的是背向滑步推铅球技术，而不是旋转推铅球技术。如果我国运动员采用旋转推铅球技术可以发挥自身优势：较好的灵活性、协调性和平衡能力，旋转过程更有节奏感。[②]高峰，李晓芸（2005）发现，旋转推铅球技术更加符合铅球运动的基本原理，其对器械的加速距离长、动作连贯、有节奏感、铅球获得初速度大等技术特点都表明这是比较先进的铅球投掷技术。[③]闫永柱（2007）指出，传统的背向滑步技术要求运动员有较高的形态和较大的力量，我国运动员在身高、体重等遗传指标上与欧美运动员相比，绝对力量小，且身材矮，处于劣势。而旋转推铅球技术类似铁饼技术，要求运动员具有较高的协调性和灵活性，我过运动员在这方面却具有独特的优势：1.由于身材相对较小，在旋转过程中的灵活性好；2.旋转过程中，投掷动作有节奏感，稳定性相对较好；3.因身体的协调性好，在投掷时双腿向上用力的条件更为优越；4.速度快，爆发性好。[④]郭立亚等人（2008）通过对我国男子铅球运动员采用旋转式推铅球技术的可行性研究，提出了采用旋转推铅球技术，可以弥补我国铅球运动员身高、体重、力量等方面的不足，发挥我国铅球运动员动作协调、灵活、速度快等特长，从而提高运动成绩。[⑤]季虎（2000）在研究旋转推铅球技术的优越性时发现，背向滑步推铅球技术在铅球最后出手时是单腿支撑，而旋转推铅球技术最后出手时是双腿支撑，双腿支撑相对单腿支撑更加稳固有力。他总结出旋转推铅球技术是一种最后用力时间更短，动作更快，对铅球加速性更大的一种技术。[⑥]田鑫（2003）通过资料研究结合其个人多年训练体验提出，旋转推铅球技

---

① 江涛.在我国推行旋转式投掷铅球技术的设想[J].体育学刊，1995，(2)：87-88
② 陈道裕，郑建岳，陈兰芳.旋转推铅球技术对我国男子运动员适用性的探讨[J].中国体育科技，2002，38（10）：22-23
③ 高峰，李晓芸.中国铅球运动员运用旋转推铅球技术的优越性[J].浙江体育科学，2005，10：81-82
④ 闫永柱.旋转式推铅球技术的优越性及其在我国适用性的探讨[J].山西体育科技，2007，27（4）：31-34
⑤ 郭立亚，孙仕舜和吕雪松.我国男子铅球运动员采用旋转式推铅球技术的可行性研究[J].北京体育大学学报，2008，31（2）
⑥ 季虎.论旋转式投掷铅球技术的优越性[J].济南大学学报，2000，10（5）：88-89

术的特点是加速路线长，用力准备充分，动作协调连贯，对铅球的控制要求较高。优点是更合理地运用了场地，加速时间充分，适用于身材相对较小的运动员，有利于速度力量的发挥。①

通过以上国内旋转推铅球的研究，我们可以看出，旋转推铅球技术与背向滑步推铅球技术相比，在很多方面都具有明显的优势，国内专家一致肯定了旋转推铅球技术的优越性。同时与国外研究相比，国内有不少专家对旋转推铅球的教学和训练进行了研究，并提出了一些训练方法，但是，在这些研究中还是缺少对旋转推铅球技术相关的练习手段的详细描述，缺少具体的训练计划设计、运动负荷监控等方面的研究，对教学和训练缺少实质的指导意义。

与国外研究相比，国内大多数研究只是通过文献资料就技术谈技术，很少有研究通过实证研究来进行分析从而得出结论，即使有，也只是将影像解析得到的所有参数罗列出来，然后进行简单描述，并没有对其进行更深层次的统计分析，进一步揭示这些参数与运动成绩之间的内在联系；在这些研究中，研究者选取的指标比较随意，没有通过严格选取。

1.3 研究意义

目前，国内关于铅球的众多研究中，有关背向滑步推铅球技术的研究很多，却很少聚焦于旋转推铅球技术的研究。通过中国知网对关于铅球方面的研究文献（1979～2010）进行检索发现：关于背向滑步推铅球方面的研究有 167 篇，而关于旋转推铅球方面的研究只有 44 篇。而且国内关于旋转推铅球技术的研究多集中在对旋转推铅球技术的发展史研究、旋转推铅球的技术研究、旋转推铅球的教学与训练研究、应用旋转推铅球技术的可行性研究等方面的浅层研究，很少有研究者从运动生物力学、运动生理学等角度对旋转推铅球技术进行深入研究。与国外研究相比，国内的研究对高水平铅球运动员的研究很少，大多只是针对旋转推铅球项目特点的阐述，缺少更进一步的研究。也就是说理论研究未能与实践发展同步，关于旋转推铅球技术的科研理论较世界体育强国还有所滞后。

① 田鑫. 旋转推铅球的技术分析与训练[J]. 首都体育学院学报，2003，15（3）：41-43

本研究采用多元线性回归分析的统计方法，从运动学角度对我国优秀男子铅球运动员张竣旋转推铅球技术进行分析，揭示其旋转推铅球单支撑阶段的主要关节角度和角速度变化特征，有助于我们对张竣单支撑阶段的技术动作进行诊断，帮助其改进技术，促进其专项运动成绩的提高，同时，对旋转推铅球技术进行的深入研究，可以引起理论研究者和实践应用者对该技术的广泛关注，从而促进该技术的理论研究和实践应用，因此，本研究具有重要的理论意义和实践价值。

2 研究对象与方法

2.1 研究对象

上海市田径队铅球运动员张竣（右手持球），是目前国内采用旋转推铅球技术为数较少的运动员之一，1983 年 4 月 11 日出生，身高 1.86 米，体重 95 公斤。在 2009 年 12 月 11 日的东亚运动会田径铅球决赛中以 20 米 41 的成绩获得冠军，并刷新该项目的赛会纪录以及中国纪录。

2.2 研究方法

2.2.1 文献法

通过检索华东师范大学图书馆数据库（包括中国学术期刊全文数据库、维普中文期刊数据库、万方数字化期刊、超星数字图书馆、中国优秀博硕士学位论文数据库、EBSCOhost 平台系列数据库、Springer Link 平台等），查阅国内外旋转推铅球研究的相关中外文献 200 余篇，专著 10 余本，对当前国内外关于旋转推铅球的研究现状及发展趋势有了大致的了解，为确立本研究的研究思路、研究内容和研究方法打下理论基础。

2.2.2 访谈法

在资料收集、实验实施以及论文撰写过程中，通过走访、电话咨询了上海体育学院旋转推铅球研究专家王卫国教授和张竣的主管教练——上海市体育局体工队高级教练员隋新梅，了解了旋转推铅球技术要求以及张竣旋转推铅球技术中当前存在的实际问题和训练情况，走访了上海体育科学研究所许以诚研究员和上海体育学院伍勰博士，了解了影像解析技术。

2.2.3 观察法

观察时间：2009 年 9 月 30 日，观察地点：上海体育局莘庄训练基地田径馆。

2.2.3.1 摄像法

使用四台日本产索尼（SONY）HVR—HD1000C 高清摄像机，采用外同步方法进行拍摄，拍摄频率为 50 帧/秒。摄像机放置位置：左前方 45 度、右前方 45 度、左后方 45 度、右后方 45 度，距离投掷圈中心点 15 米处，机身高 1.2 米（如图 1 所示）。在测试前，用由 17 根黑色金属杆子及 25 个白色小球组成的三维框架对拍摄范围进行标定。

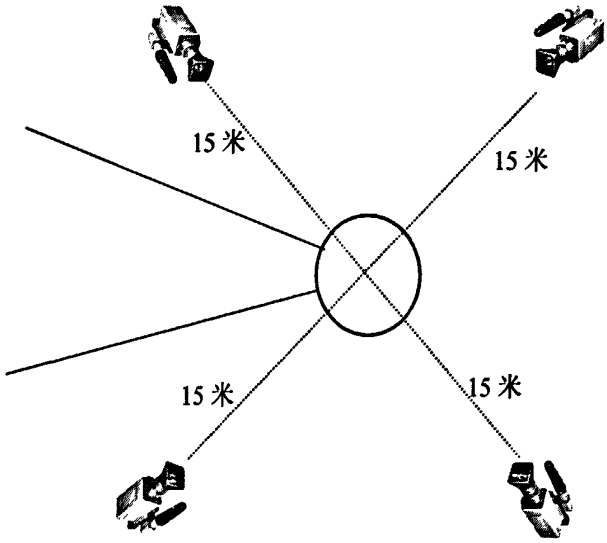


图 1 摄像机放置位置示意图

2.2.3.2 数据处理

对拍摄到的张竣旋转推铅球 11 次试掷情况，采用美国的阿里尔（Ariel）运动图像解析系统对每次投掷的各个阶段动作进行分析，获得各个阶段的相关运动学技术参数，并对所获得的数据进行低通滤波平滑处理。

2.2.4 数理统计法

运用 SPSS 等软件对部分关节角度和角速度与运动成绩进行多元线性回归分析，筛选出在单支撑阶段中，影响张竣旋转推铅球运动成绩的主要关节角度和角速度指标。

3 结果与分析

3.1 相关概念界定

骨与骨之间借结缔组织相连接成为关节（joint），它是人体运动的枢纽，其基本功能是传递人体运动的力和保证身体各部分之间的灵活运动。[①]对于人体关节的研究不仅是发展生物力学基本理论的需要，而且对体育教师、教练员指导体育教学、运动训练、以及预防和治疗运动损伤有重要意义。本研究，我们选取张竣旋转推铅球单支撑阶段主要关节的角度和角速度变化来进行研究，旨在对张竣旋转推铅球单支撑阶段的技术状况进行科学的诊断。

根据文献资料以及专家意见，现将本研究中出现的各指标进行如下定义：

3.1.1 肩关节角度：肩关节至同侧肘关节之间的连线与肩关节至同侧髋关节之间的连线在冠状面上形成的夹角。单位为“度”。[②]

3.1.2 髋关节角度：髋关节至同侧肩关节之间的连线与髋关节至同侧膝关节之间的连线在矢状面上形成的夹角。单位为“度”。[③]

3.1.3 膝关节角度：膝关节至同侧髋关节之间的连线与膝关节至同侧踝关节之间的连线在矢状面上形成的夹角。单位为“度”。[④]

3.1.4 角速度：关节活动时，单位时间内关节位置变化的角度。单位为“度/秒”，是反映运动技术动作快慢的重要指标。[⑤]

3.1.5 单支撑阶段：（如图 2 所示），单支撑阶段是指“双脚支撑阶段后，右脚离地至左脚离地，形成以左脚为轴旋转的这一阶段。这一阶段的主要任务就是把人体和铅球从投掷圈的后半圈推至前半圈，逐渐加大人和铅球的旋转速度，为最后用力阶段做充分的准备。”[⑥]

---

① 《运动生物力学》编写组.运动生物力学（第二版）[M].北京：高等教育出版社，2000：189-191

② 文世林.我国两名优秀男子铅球运动员旋转推铅球技术的三维运动学分析[D].硕士学位论文，首都体育学院，2009

③ 文世林.我国两名优秀男子铅球运动员旋转推铅球技术的三维运动学分析[D].硕士学位论文，首都体育学院，2009

④ 文世林.我国两名优秀男子铅球运动员旋转推铅球技术的三维运动学分析[D].硕士学位论文，首都体育学院，2009

⑤ 金季春.运动生物力学高级教程[M].北京：北京体育大学出版社，2007：408-411

⑥ 毛永等.推铅球技术的演变暨旋转式推铅球技术的要点和难点[J].山东体育科技，2002，24（1）：1-4

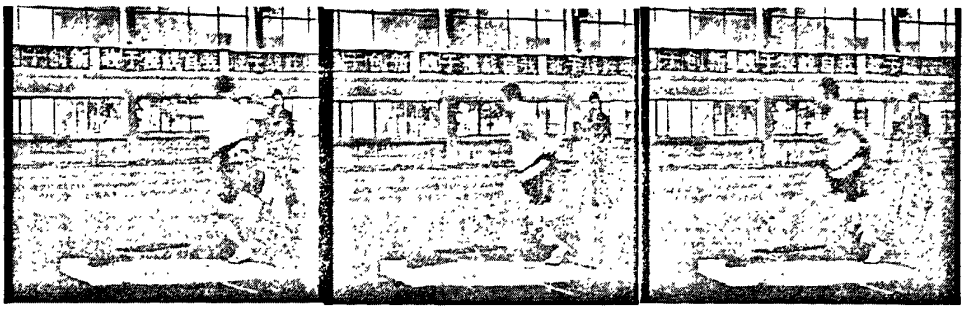


图 2 张竣旋转推铅球单支撑阶段影像截图

单支撑阶段的动作会直接影响后续几个阶段的动作，因为后续动作只是顺惯性动作，同时，教练员和拍摄到的视频都反映出张竣旋转推铅球单支撑阶段存在问题，所以我们选择单支撑阶段进行研究。

3.2 主要关节角度、角速度与运动成绩的回归分析

在运动生物力学里，时间是反映物质运动变化的序列和持续的性质，是物质存在的基本属性。为了反映物质运动变化的次序，引入“时刻”来定义事件发生的先后序列。本研究选取张竣旋转推铅球单支撑阶段开始时刻和结束时刻两个时刻主要关节角度、角速度与运动成绩进行多元线性回归分析，目的在于筛选对铅球成绩有显著影响的主要关节角度、角速度指标。

多元线性回归分析，是指含有多个自变量的线性回归分析，用于揭示一个因变量与其他多个自变量之间的线性关系。多元线性回归的数学模型是

$$y=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\cdots+\beta_pX_p+\varepsilon$$

该回归模型中有 p 个自变量，它表明因变量 y 的变化可由两部分解释。1. 由 p 个自变量 x 的变化引起的 y 的线性变化部分，即 $y=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\cdots+\beta_pX_p$；2. 由其他随机因素引起的 y 的变化部分，即 ε。估计多元线性方程中的未知参数 β_0，β_1，…，β_p是多元线性回归分析的核心任务之一。①

本研究中，选取的因变量为旋转推铅球运动成绩（Y）；各个自变量为：旋转推铅球时单支撑阶段左膝关节角度（X_1）、右膝关节角度（X_2）、左髋关节角度

① 薛薇. 统计分析与 SPSS 的应用（第二版）[M]北京：中国人民大学出版社，2008：277-320

（X_3）、右髋关节角度（X_4）、左肩关节角度（X_5）、右肩关节角度（X_6）、左膝关节角速度（X_7）、右膝关节角速度（X_8）、左髋关节角速度（X_9）、右髋关节角速度（X_{10}）、左肩关节角速度（X_{11}）、右肩关节角速度（X_{12}）。

3.2.1 开始时刻关节角度、角速度与运动成绩的回归分析

3.2.1.1 开始时刻关节角度与运动成绩的回归分析

表 1 引入/剔除变量表[a,b]

模型	引入的变量	剔除的变量	方 法
1	左髋关节角度	.	逐步回归法（标准:P<=0.050 引入，P>=0.100 剔除）。
2	右膝关节角度	.	逐步回归法（标准:P<=0.050 引入，P>=0.100 剔除）。

a. 因变量:成绩

b. 通过原点的线性回归

表 1 列出了模型的筛选过程，模型 1 用逐步法引入了左髋关节角度，然后模型 2 用逐步法引入了右膝关节角度，左髋关节角度仍然保留在模型 2 中。另外四个变量没有达到引入标准，最终没有被引入。

表 2 方差分析表[d,e]

模型		平方和	自由度	均方	F 值	概率 p 值
1	回归	4503.248	1	4503.248	13405.855	0.000[a]
	残差	4.031	12	0.336		
	总计	4507.279b	13			
2	回归	4504.497	2	2252.249	8907.207	0.000[c]
	残差	2.781	11	0.253		
	总计	4507.279b	13			

a. 预测变量:左髋关节角度

b. 因为通过原点的回归的常量为零，所以对于该常量此总平方和是不正确的。

c. 预测变量:左髋关节角度,右膝关节角度

d. 因变量:成绩

e. 通过原点的线性回归

表 2 是对拟合的两个模型的方差分析检验结果。由结果（P 值均为 0.000，小于 0.050）可知，拟合的两个模型均有统计学意义。

表 3 回归系数检验表[a,b]

模型		非标准化系数		标准系数		
		偏回归系数	标准误差	Beta	t 值	概率 p 值
1	左髋关节角度	0.160	0.001	1.000	115.784	0.000
2	左髋关节角度	0.110	0.022	0.688	4.898	0.000
	右膝关节角度	0.057	0.026	0.312	2.223	0.048

a. 因变量:成绩

b. 通过原点的线性回归

表 3 是用 t 检验对两个模型中各个回归系数检验的结果。从结果(P_{X3}=0.000，P_{X2}=0.048 都小于 0.050）中可以看出，模型 2 中的两个自变量的系数都有统计学意义。左髋关节角度的偏回归系数为 0.110，标准化回归系数为 0.688；右膝关节角度偏回归系数为 0.057，标准回归系数为 0.312。通过比较两个变量的标准回归系数，我们发现左髋关节角度对运动成绩的贡献更大一些。

表 4 模型外的变量检验表[c,d]

模型		Beta In	t 值	概率 p 值	偏相关
1	左膝关节角度	0.312[a]	0.784	0.450	0.230
	右膝关节角度	0.312[a]	2.223	0.048	0.557
	右髋关节角度	0.288[a]	0.930	0.372	0.270
	左肩关节角度	0.182[a]	1.362	0.200	0.380
	右肩关节角度	0.211[a]	1.023	0.328	0.295
2	左膝关节角度	0.003[b]	0.007	0.994	0.002
	右髋关节角度	-0.204[b]	-0.545	0.598	-0.170
	左肩关节角度	-0.044[b]	-0.230	0.823	-0.073
	右肩关节角度	0.012[b]	0.056	0.956	0.018

a. 模型中的预测变量:左髋关节角度

b. 模型中的预测变量:左髋关节角度,右膝关节角度

c. 因变量:成绩

d. 通过原点的线性回归

表 4 反映的是多重线性回归拟合模型过程中没有进入模型的变量的检验结果。由结果可见，在模型 1 中，未进入模型的候选变量右膝关节角度还符合引入标准（P<=0.050），可能需要引入；而在模型 2 中，未进入的四个变量均大于引入标准（P>=0.100），无须再进行分析了。

由此可知，张竣旋转推铅球单支撑阶段开始时刻运动成绩与各关节角度的“最优”函数关系为：$Y=0.11X_3+0.057X_2$。该方程意味着单支撑阶段开始时刻左髋关节角度每增大 1 度，运动成绩平均提高 0.11 米，增大左髋关节角度有利于身体重心与身体的旋转轴尽可能重合，从而减小地面反作用力对旋转轴的作用，便于“人-球系统”更快、更平稳地旋转，对铅球运动成绩产生积极影响。右膝关节角度每增大 1 度，运动成绩平均提高 0.057 米，因此，增加右膝关节角度可以加大身体旋转半径，由 $V=\omega*R$ 可知，旋转半径增加，投掷方向的铅球线速度也就增加了，铅球线速度增加有利于提高铅球出手初速度，从而提高铅球运动成绩。

3.2.1.2 开始时刻关节角速度与运动成绩的回归分析

表 5 引入 / 剔除变量表[a,b]

模型	引入的变量	剔除的变量	方　法
1	左髋关节角速度	.	逐步回归法（标准:P<=0.050 引入，P>=0.100 剔除）。
2	左膝关节角速度	.	逐步回归法（标准:P<=0.050 引入，P>=0.100 剔除）。

a. 因变量:成绩

b. 通过原点的线性回归

表 5 列出了模型的筛选过程，模型 1 用逐步法引入了左髋关节角速度，然后模型 2 用逐步法引入了左膝关节角速度，左髋关节角速度仍然保留在模型 2 中。另外四个变量没有达到引入标准，最终没有被进入。

表 6 方差分析表[d,e]

模型		平方和	自由度	均方	F 值	概率 p 值
1	回归	4387.455	1	4387.455	439.392	0.000[a]
	残差	119.823	12	9.985		
	总计	4507.279[b]	13			
2	回归	4428.346	2	2214.173	308.566	0.000[c]
	残差	78.933	11	7.176		
	总计	4507.279[b]	13			

a. 预测变量:左髋关节角速度

b. 因为通过原点的回归的常量为零，所以对于该常量此总平方和是不正确的。

c. 预测变量:左髋关节角速度,左膝关节角速度

d. 因变量:成绩

e. 通过原点的线性回归

表 6 是对拟合的两个模型的方差分析检验结果。由结果（P 值均为 0.000，小于 0.050）可知，拟合的两个模型均有统计学意义。

表 7 回归系数检验表[a,b]

模型		非标准化系数		标准系数		
		偏回归系数	标准误差	Beta	t 值	概率 p 值
1	左髋关节角速度	0.073	0.003	0.987	20.962	0.000
2	左髋关节角速度	0.092	0.008	1.241	10.902	0.000
	左膝关节角速度	-0.056	0.024	-0.272	-2.387	0.036

a. 因变量:成绩

b. 通过原点的线性回归

表7是对两个模型中各个系数检验的结果,用的是t检验。从结果(P_{X9}=0.000，P_{X7}=0.036，都小于 0.050）中可以看出，模型 2 中两个自变量的系数都有统计学意义。左髋关节角速度的偏回归系数为 0.092，标准化回归系数为 1.241；左膝关节角速度偏回归系数为-0.056，标准回归系数为-0.272。通过比较两个变量的标准回归系数的绝对值，可知左髋关节角速度对运动成绩贡献大些。

表 8 模型外的变量检验表[c,d]

模型		Beta In	t 值	概率 p 值	偏相关
1	左膝关节角速度	-0.272[a]	-2.387	0.036	-0.584
	右膝关节角速度	-0.205[a]	-1.259	0.234	-0.355
	右髋关节角速度	0.064[a]	0.742	0.474	0.218
	左肩关节角速度	0.124[a]	1.033	0.324	0.297
	右肩关节角速度	-0.015[a]	-0.194	0.850	-0.058
2	右膝关节角速度	-0.083[b]	-0.517	0.617	-0.161
	右髋关节角速度	0.003[b]	0.040	0.969	0.013
	左肩关节角速度	0.108[b]	1.064	0.312	0.319
	右肩关节角速度	-0.105[b]	-1.572	0.147	-0.445

a. 模型中的预测变量:左髋关节角速度

b. 模型中的预测变量:左髋关节角速度,左膝关节角速度

c. 因变量:成绩

d. 通过原点的线性回归

表 8 反映的是多重线性回归拟合模型过程中没有进入模型的变量的检验结果。由结果可见，在模型 1 中，未进入模型的候选变量左膝关节角速度还符合引入标准（P<=0.050），可能需要引入；而在模型 2 中，未进入的四个变量均大于引入标准（P>=0.100），无须再进行分析了。

由此可知，张竣旋转推铅球单支撑阶段开始时刻运动成绩与各关节的关节角速度的“最优”函数关系为：$Y=0.092X_6-0.056X_7$。通过该方程我们发现，单支撑阶段开始时刻左髋关节角速度每增大 1 度/秒，运动成绩平均提高 0.092 米，左髋角速度的增大，说明重心垂直上移速度快，有利于身体更快地旋转，缩短单支撑阶段持续时间，便于更快地进入下一个技术阶段——腾空阶段，但是这样做，对稳定旋转和支撑用力十分不利，应减少到尽可能小的程度；而左膝关节角速度每减小 1 度/秒，运动成绩平均提高 0.056 米，即左膝关节变化要慢才有利于成绩提高，因为左膝关节角度平稳变化可以支撑身体更平稳地旋转，这也十分符合教练员要求左膝关节基本保持平稳不变的要求。

3.2.2 结束时刻关节角度、角速度与运动成绩的回归分析

3.2.2.1 结束时刻关节角度与运动成绩的回归分析

表 9 引入/剔除变量表[a,b]

模型	引入的变量	剔除的变量	方　法
1	右膝关节角度	.	逐步回归法（标准:P<=0.050 引入，P>=0.100 剔除）。
2	右肩关节角度	.	逐步回归法（标准:P<=0.050 引入，P>=0.100 剔除）。

a. 因变量:成绩

b. 通过原点的线性回归

表 9 结果列出了模型的筛选过程，模型 1 用逐步法引入了右膝关节角度，然后模型 2 用逐步法引入了右肩关节角度，右膝关节角度仍然保留在模型 2 中。另四个变量没有达到引入标准，最终没有进入。

表 10 方差分析表[d,e]

模型		平方和	自由度	均方	F 值	概率 p 值
1	回归	4501.591	1	4501.591	9497.157	0.000[a]
	残差	5.688	12	0.474		
	总计	4507.279[b]	13			
2	回归	4504.650	2	2252.325	9426.488	0.000[c]
	残差	2.628	11	0.239		
	总计	4507.279[b]	13			

a. 预测变量:右膝关节角度

b. 因为通过原点的回归的常量为零，所以对于该常量此总平方和是不正确的。

c. 预测变量:右膝关节角度,右肩关节角度

d. 因变量:成绩

e. 通过原点的线性回归

表 10 是对拟合的两个模型的方差分析检验结果。由结果（P 值均为 0.000，小于 0.050）可知，两个模型均有统计学意义。

表 11 回归系数检验表[a,b]

模型		非标准化系数		标准系数		
		偏回归系数	标准误差	Beta	t 值	概率 p 值
1	右膝关节角度	0.139	0.001	0.999	97.453	0.000
2	右膝关节角度	0.088	0.014	0.632	6.139	0.000
	右肩关节角度	0.074	0.021	0.368	3.578	0.004

a. 因变量:成绩

b. 通过原点的线性回归

表 11 是对两个模型中各个系数检验的结果，用的是 t 检验。从结果（P_{X2}=0.000，P_{X6}=0.004，都小于 0.050）中可以看出，模型 2 中两个自变量的系数都有统计学意义。右膝关节角度的偏回归系数为 0.088，标准化回归系数为 0.632；右肩关节角度偏回归系数为 0.074，标准回归系数为 0.368。通过比较两个变量的标准回归系数，可知右膝关节角度对运动成绩贡献大些。

表 12 模型外的变量检验表[c,d]

模型		Beta In	t 值	概率 p 值	偏相关
1	左膝关节角度	0.375[a]	1.353	0.203	0.378
	左髋关节角度	0.164[a]	0.639	0.536	0.189
	右髋关节角度	0.089[a]	0.412	0.689	0.123
	左肩关节角度	0.251[a]	2.245	0.046	0.561
	右肩关节角度	0.368[a]	3.578	0.004	0.733
2	左膝关节角度	0.158[b]	0.720	0.488	0.222
	左髋关节角度	-0.226[b]	-1.098	0.298	-0.328
	右髋关节角度	-0.116[b]	-0.713	0.492	-0.220
	左肩关节角度	0.075[b]	0.625	0.546	0.194

a. 模型中的预测变量:右膝关节角度

b. 模型中的预测变量:右膝关节角度,右肩关节角度

c. 因变量:成绩

d. 通过原点的线性回归

表 12 反映的是多重线性回归拟合模型过程中没有进入模型的变量的检验结果。由结果可见，在模型 1 中，未进入模型的候选变量左肩关节角度、右肩关节角度还符合引入标准（P<=0.050），可能需要引入；而在模型 2 中，未进入的四

个变量均大于引入标准（P>=0.100），无须再进行分析了。

由此可知，张竣旋转推铅球单支撑阶段结束时刻运动成绩与各关节角度的“最优”函数关系为：$Y=0.088X_2+0.074X_6$。该方程意味着单支撑阶段结束时刻右膝关节角度每增大 1 度，运动成绩平均可以提高 0.088 米，在上文中已经证实过增加右膝关节角度可以加大身体旋转半径，从而增加投掷方向的铅球线速度，由此运动成绩自然也就提高了。而右肩关节角度每增大 1 度，可以使运动成绩平均提高 0.074 米，这里的右肩关节角度增大是有限制的，如果大于 90 度会使铅球紧贴锁骨窝的稳定性降低，将不利于铅球运动成绩的提高，这也十分符合旋转推铅球技术持握铅球的基本要求：持球臂的肘部向外展开与肩齐平①，即右肩关节保持在 90 度左右。

3.2.2.2 结束时刻关节角速度与运动成绩的回归分析

表 13 引入 / 剔除变量表[a,b]

模型	引入的变量	剔除的变量	方　法
1	左髋关节角速度	.	逐步回归法(标准:P<=0.050 引入,P>=0.100 剔除)。
2	左膝关节角速度	.	逐步回归法(标准:P<=0.050 引入,P>=0.100 剔除)。
3	右肩关节角速度	.	逐步回归法(标准:P<=0.050 引入,P>=0.100 剔除)。
4	.	左髋关节角速度	逐步回归法(标准:P<=0.050 引入,P>=0.100 剔除)。

a. 因变量:成绩

b. 通过原点的线性回归

表 13 列出了模型的筛选过程，模型 1 用逐步法引入了左髋关节角速度；模型 2 用逐步法引入了左膝关节角速度，左髋关节角速度仍然保留在模型 2 中；模型 3 用逐步法引入了右肩关节角速度，左髋关节角速度和左膝关节角速度仍然保留在模型 3 中；模型 4 用逐步法剔除了左髋关节角速度，左膝关节角速度和右肩关节角速度仍然保留在模型 4 中。

① 张英波. 推铅球——现代投掷技术与训练[M]. 北京：北京体育大学出版社，2003

表 14 方差分析表[f,g]

模型		平方和	自由度	均方	F 值	概率 p 值
1	回归	4313.579	1	4313.579	267.233	0.000[a]
	残差	193.700	12	16.142		
	总计	4507.279[b]	13			
2	回归	4388.753	2	2194.376	203.653	0.000[c]
	残差	118.526	11	10.775		
	总计	4507.279[b]	13			
3	回归	4443.941	3	1481.314	233.878	0.000[d]
	残差	63.337	10	6.334		
	总计	4507.279[b]	13			
4	回归	4440.083	2	2220.042	363.424	0.000[e]
	残差	67.195	11	6.109		
	总计	4507.279[b]	13			

a. 预测变量:左髋关节角速度

b. 因为通过原点的回归的常量为零，所以对于该常量此总平方和是不正确的。

c. 预测变量:左髋关节角速度,左膝关节角速度

d. 预测变量:左髋关节角速度,左膝关节角速度,右肩关节角速度

e. 预测变量:左膝关节角速度,右肩关节角速度

f. 因变量:成绩

g. 通过原点的线性回归

表 15 回归系数检验表[a,b]

模型		非标准化系数		标准系数		
		偏回归系数	标准误差	Beta	t 值	概率 p 值
1	左髋关节角速度	0.050	0.003	0.978	16.347	0.000
2	左髋关节角速度	0.027	0.009	0.527	2.964	0.013
	左膝关节角速度	0.024	0.009	0.469	2.641	0.023
3	左髋关节角速度	0.008	0.010	0.146	0.780	0.453
	左膝关节角速度	0.029	0.007	0.561	4.017	0.002
	右肩关节角速度	0.022	0.007	0.313	2.952	0.014
4	左膝关节角速度	0.034	0.004	0.652	8.616	0.000
	右肩关节角速度	0.026	0.005	0.370	4.889	0.000

a. 因变量:成绩

b. 通过原点的线性回归

表 14 是对拟合的四个模型的方差分析检验结果。由结果（P 值均为 0.000，小于 0.050）可知，四个模型均有统计学意义。

表 15 是对四个模型中各个系数检验的结果，用的是 t 检验。从结果（$P_{X1}=P_{X12}=0.000$ 均小于 0.050）中可以看出，模型 4 中两个自变量的系数都有统计学意义。左膝关节角速度的偏回归系数为 0.034，标准化回归系数为 0.652；右肩关节角速度偏回归系数为 0.026，标准回归系数为 0.370。通过比较两个变量的标准回归系数的绝对值，可知左膝关节角速度对运动成绩贡献大些。

表 16 模型外的变量检验表[e,f]

模型		Beta In	t 值	概率 p 值	偏相关
1	左膝关节角速度	0.469[a]	2.641	0.023	0.623
	右膝关节角速度	0.170[a]	2.153	0.054	0.544
	右髋关节角速度	-0.014[a]	-0.132	0.898	-0.040
	左肩关节角速度	0.081[a]	0.695	0.501	0.205
	右肩关节角速度	0.218[a]	1.369	0.198	0.381
2	右膝关节角速度	0.147[b]	2.363	0.040	0.599
	右髋关节角速度	0.045[b]	0.499	0.628	0.156
	左肩关节角速度	-0.042[b]	-0.386	0.707	-0.121
	右肩关节角速度	0.313[b]	2.952	0.014	0.682
3	右膝关节角速度	0.092[c]	1.542	0.158	0.457
	右髋关节角速度	-0.015[c]	-0.211	0.837	-0.070
	左肩关节角速度	-0.033[c]	-0.390	0.706	-0.129
4	右膝关节角速度	0.080[d]	1.354	0.205	0.394
	右髋关节角速度	0.000[d]	-0.006	0.995	-0.002
	左肩关节角速度	-0.031[d]	-0.379	0.713	-0.119
	左髋关节角速度	0.146[d]	0.780	0.453	0.240

a. 模型中的预测变量:左髋关节角速度

b. 模型中的预测变量:左髋关节角速度,左膝关节角速度

c. 模型中的预测变量:左髋关节角速度,左膝关节角速度,右肩关节角速度

d. 模型中的预测变量:左膝关节角速度,右肩关节角速度

e. 因变量:成绩

f. 通过原点的线性回归

表 16 反映的是多重线性回归拟合模型过程中没有进入模型的变量的检验结果。由结果可见，在模型 1 中，未进入模型的候选变量左膝关节角速度还符合引入标准（P<=0.050），可能需要引入；在模型 2 中，未进入的右膝关节角速度、右肩关节角速度还符合引入标准（P<=0.050），可能需要引入；在模型 3 中，未进入的三个变量均大于引入标准（P>=0.100），无须再进行分析了；而在模型 4 中，未进入的四个变量均大于引入标准（P>=0.100），无须再进行分析了。

由此可知，张竣旋转推铅球单支撑阶段结束时刻运动成绩与各关节的关节角速度的“最优”函数关系为：$Y=0.034X_7+0.026X_{12}$。通过该方程，我们可以看出，单支撑阶段结束时刻，左膝关节角速度每增大 1 度/秒，铅球运动成绩可以平均提高 0.034 米，在单支撑阶段的结束时刻，也就是即将进入腾空阶段，在这一时刻左脚用力蹬地已经完成，增大左膝关节角速度也就意味着加快左腿膝盖的弯屈，可以更加快速地缩小转动半径，为缩短腾空阶段持续时间做好准备，使右脚更快地向投掷圈圆心位置着地；而右肩关节角速度每增大 1 度/秒，铅球运动成绩可以平均提高 0.026 米，通过观察，增大右肩关节角速度，即加快外展右肩关节，可以反射性地加快左腿蹬离地面的速度，使身体更快地向投掷方向旋转。

通过以上回归分析，我们可以看出，在张竣旋转推铅球单支撑阶段右肩角、（X_6），左髋角（X_3）、右膝角（X_2）、右肩关节角速度（X_{12}）、左髋关节角速度（X_9）、左膝关节角速度（X_7）等 6 个指标与的其铅球运动成绩有显著相关性。这也十分符合旋转推铅球单支撑阶段的基本技术要求：右脚离地后右腿微屈，身体以左侧为轴向投掷方向旋转，左手略微向下指向投掷方向，躯干略微向投掷方向倾斜，右膝引导右腿，靠近地面、大半径向投掷圈圆心摆动右小腿，左腿屈膝以左踝关节稳固支撑体重并向投掷方向蹬转。[①]同时，隋新梅教练员也指出在单支撑阶段左膝关节应稳固在 90 度～120 度左右（左膝关节角度根据运动员自身的能力、习惯而定），右腿摆动时大腿不能摆得过高，要使身体平稳地向投掷方向旋转。右腿向投掷圈圆心摆动时要低平内扣，右腿的内扣要与左脚的蹬转协调配合。[②]

① 毛永，郑峰和何明等. 推铅球技术的演变暨旋转式推铅球技术的要点和难点[J]. 山东体育科技，2002，24（1）：1-4

② 毛永，郑峰和何明等. 推铅球技术的演变暨旋转式推铅球技术的要点和难点[J]. 山东体育科技，2002，24（1）：1-4

3.3 主要关节角度和角速度的变化特征分析

上述研究结果表明，在单支撑阶段，影响张竣旋转推铅球运动成绩的主要关节角度和角速度指标有：右肩关节角度、左髋关节角度、右膝关节角度、右肩关节角速度、左髋关节角速度、左膝关节角速度等 6 个指标。

揭示张竣旋转推铅球单支撑阶段的主要关节角度和角速度变化特征，有助于我们对张竣单支撑阶段的技术动作进行诊断，从而帮助其改进技术，进一步提高其运动成绩。

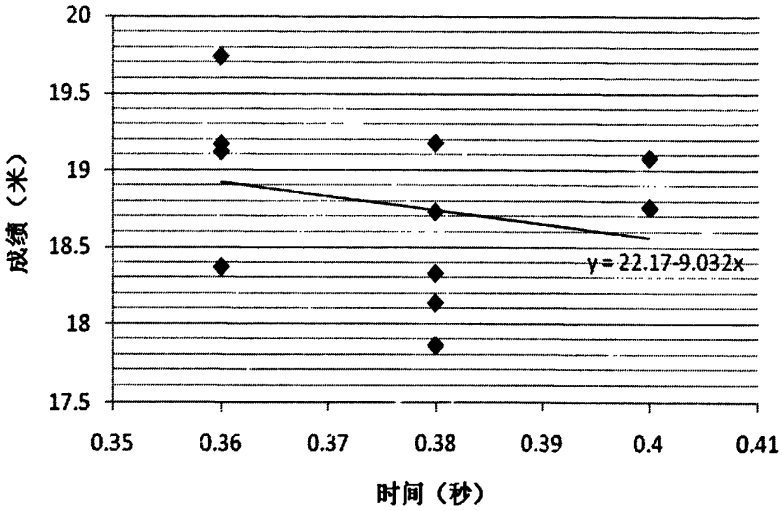


图 3 单支撑阶段持续时间与成绩关系图

表 17 单支撑阶段持续时间与运动成绩对照表

时间（秒）	0.38	0.40	0.38	*0.36*	*0.36*	0.38
成绩（米）	18.33	19.08	18.73	*19.17*	*18.37*	18.14
时间（秒）	0.40	0.38	0.38	*0.36*	*0.36*	
成绩（米）	18.76	17.86	19.18	*19.12*	*19.74*	

图 3 和表 17，为张竣旋转推铅球运动成绩与单支撑阶段持续时间的对应关系，经过统计分析，我们得到铅球运动成绩（Y）与单支撑阶段持续时间（t）的关系式为 Y=22.17-9.032t，通过该关系式我们发现，铅球运动成绩与单支撑阶段持续时间呈反比例关系，即单支撑阶段持续时间越短，旋转推铅球的运动成绩越好。为了便于比较，在本研究中我们选取张竣旋转推铅球单支撑阶段持续时间

均为 0.36 秒的 4 次测试数据（19.17 米、18.37 米、19.12 米、19.74 米）进行分析。

3.3.1 右肩关节角度的变化特征分析

肩关节（shoulder joint）是一个典型的球窝关节，由肱骨头与肩胛骨的关节盂构成。肩关节是上肢最大的关节，也是人体中最灵活、但稳固性较差的关节。右肩关节角度就是指右肩关节至右肘关节之间的连线与右肩关节至右髋关节之间的连线所形成的夹角度数。

旋转推铅球的持球方法与背向滑步推铅球技术的右肘关节动作略有不同，因为旋转推铅球在加速过程中，离心力较大，因此右手持球时需要抬肘，保持右肘关节在体侧与肩肘成一线的姿势（即右大臂与躯干成 90 度夹角），把铅球紧贴在锁骨窝处，对抗铅球的离心力并稳定地控制铅球。由此看来，在单支撑阶段，右手主要起到持球作用，右肩关节角度大小反映了肘抬起高低以及铅球贴锁骨窝的松紧程度。同时，根据投掷基本原理可知，右手作为投掷臂应尽可能留在后面，并保持相对固定的肩关节角度，有利于为最后用力的良好出手姿势作好准备。

表 18 单支撑阶段右肩关节角度

成 绩	时 刻		
	开始时刻	结束时刻	最小时刻
19.74 米	84.31 度	89.55 度	69.66 度
19.17 米	91.71 度	97.98 度	80.44 度
19.12 米	86.32 度	96.95 度	71.53 度
18.37 米	83.74 度	87.98 度	73.44 度

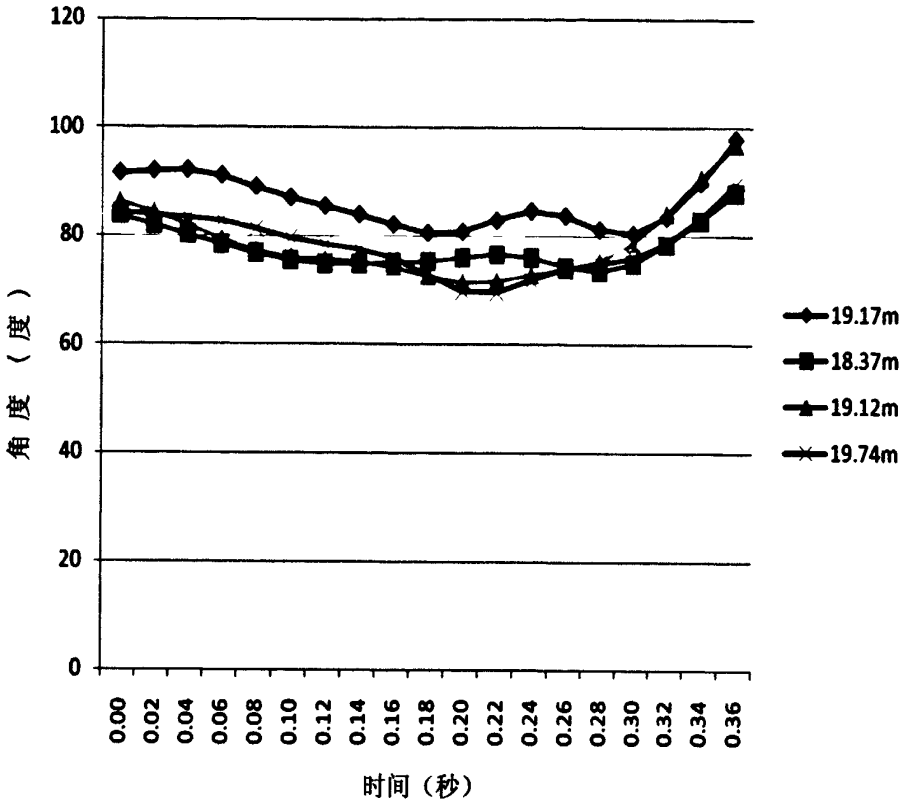


图 4 单支撑阶段右肩关节角度变化曲线图

图 4 结果显示，张竣投掷成绩为 19.74 米时，右肩关节在单支撑阶段的变化规律为：在开始时刻控制在 84 度左右，然后慢慢内收至中间时刻收至尽可能小（不影响铅球固定），这样有利于提高旋转速度，之后再慢慢外展到 90 度左右，单支撑后半阶段右肩关节角度的增大，能使铅球紧贴向内倾斜的人体锁骨窝，避免身体重心过早前移，维持人-球一体的旋转速度。

从图 4 我们可以得知，从单支撑阶段开始到结束，右肩关节角度整体变化趋势是先减小后增大，而且通过影像解析，我们得到 4 次试投单支撑阶段开始时刻、结束时刻和关节角度最小时刻的右肩关节角度（见表 18）。观察上述数据我们发现，在整个单支撑阶段，4 次试投的右肩关节角度变化差异不是非常明显，这说明张竣在多次试投中表现出较好的稳定性。

成绩最好的（19.74 米）试投中，开始时刻的右肩关节角度为 84.31 度，无论增大或减小开始时刻的右肩关节角度，运动成绩都不如这个角度时得到的运动成绩；结束时刻的右肩关节角度为 89.55 度，即右大臂与躯干将近垂直，基本满

足隋新梅教练员指出的在单支撑阶段右肩关节角度为 90 度的要求。同时我们还可以从图 3 中看出，成绩最好的（19.74 米）试投中，在 0.22 秒时达到最小值 69.66 度，而此时，其他 3 次试投的右关节角度已经开始增大且整个阶段的最小值都比此次试投的最小值要大，我们认为这也是造成铅球运动成绩差异的重要因素之一。

3.3.2 左髋关节角度的变化特征分析

髋关节（hip joint）由髋臼和股骨头构成球窝关节。髋关节主要起到支持体重和适应走、跑、跳等下肢动作需要的作用。左髋关节角度是指左髋关节至左肩关节之间的连线与左髋关节至左膝关节之间的连线在体前所形成的夹角度数。

在旋转推铅球单支撑阶段，由于离心力的作用，身体向左倾斜，形成一个左侧转动轴。同时，张竣为降低身体重心，身体稍向前倾并屈膝。左髋关节角度大小反映了身体前倾幅度大小，同时也可以作为反映重心高低的一个指标。

表 19 单支撑阶段左髋关节角度

成 绩	时 刻		
	开始时刻	结束时刻	最大时刻
19.74 米	121.17 度	143.46 度	168.57 度
19.17 米	116.70 度	146.77 度	168.71 度
19.12 米	120.10 度	153.09 度	172.98 度
18.37 米	117.37 度	149.86 度	172.45 度

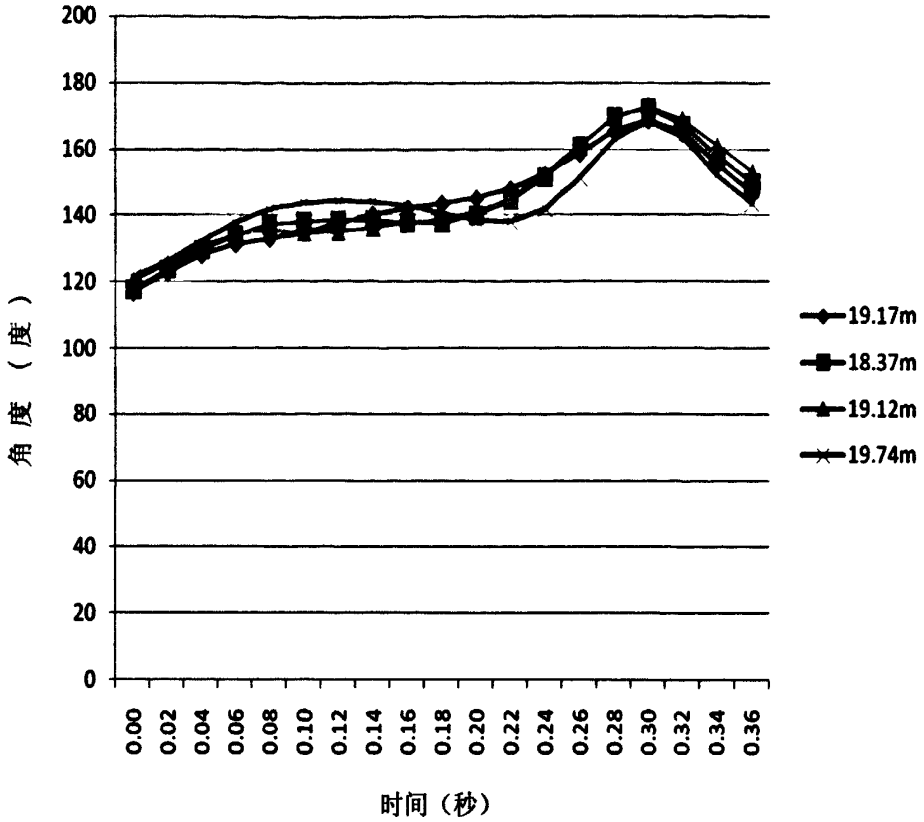


图 5 单支撑阶段左髋关节角度变化曲线图

图 5 结果显示，张竣投掷成绩为 19.74 米时，单支撑阶段左髋角的变化特征是：伸髋（121.17 度）～屈髋（137.91 度）～加大伸髋（168.57 度）～屈髋（143.46 度）。

从图 5 我们可以看出，从单支撑阶段开始到结束，左髋关节角度整体变化趋势为先增大后减小，表明躯干先稍稍抬起然后又向下弯曲，为下一腾空阶段做积极准备。4 次试投都在 0.30 秒时刻（即接近单支撑阶段结束时刻）达到最大值，表明张竣技术动作符合旋转推铅球技术要求而且稳定性很高。同时根据图 5，我们发现，在单支撑阶段前半期即 0.18 秒之前，成绩最好（19.74 米）的那次试投中左髋关节角度均大于其它 3 次试投，而在单支撑阶段后半期即 0.18 秒之后，均小于其他 3 次试投，而且在第二个四分之一阶段，这一次试投的左髋关节角度是减小的，而其它 3 次试投都是在增大。

再观察影像解析得出的单支撑阶段开始时刻、结束时刻和关节角度最大时刻的左髋关节角度（见表 19）。我们不难发现，成绩最好的（19.74 米）试投中，

单支撑阶段开始时刻左髋关节角度均大于其他 3 次试投，而结束时刻和最大左髋关节角度均小于其他 3 次试投。我们试想在开始时刻左髋关节角度控制在 121.17 度以上，即身体不要过分前倾，在结束时刻左髋关节角度应控制在 143.5 度以下，左髋角度小，有利于运动员快速进入下一个技术阶段，即身体稍向前倾，最大左髋关节角度不超过 168.6 度，这样做也许会获得更好的铅球运动成绩。

3.3.3 右膝关节角度的变化特征分析

膝关节（knee joint）是由股胫关节和股髌关节构成的椭圆屈戌关节，是人体中最大的关节。右膝关节角度就是指右膝关节至右髋关节之间的连线与右膝关节至右踝关节之间的连线所形成的夹角度数。

在旋转推铅球单支撑阶段，运动员通过肩横轴的转动带动铅球加速的过程，身体的重心落在左腿上，右腿远离左腿摆动，腿部技术是旋转技术的一个难点，因为铅球投掷圈的直径只有 2.135 米，右腿摆动的好坏直接影响了旋转速度以及身体姿势。文世林(2009)在其研究中将单支撑阶段称为“外摆画弧动作”，即“运动员右脚离地后右腿往左侧投掷圈外展摆动，在这一动作中，右腿屈膝摆动积极有力，右脚超出了投掷圈，形成了较大半径的旋转动作。同时运动员上体向左倾斜，这样可以加剧左腿压力，左腿的髋、膝、踝等关节处于弹性压缩状态，形成了坚实的以左脚为支撑点的左侧旋转轴。”[①]张燕中（2004）在其研究中认为，外摆画弧动作其实就是一种“补偿运动”，即“人体在完成动作的过程中，当人体重心发生偏移时，通过补偿运动在一定范围内‘中和’重心的不适宜移动，有利于身体恢复平衡和促进动作顺利完成。例如，运动员在跳高时，为了使髋部越过更高的高度，在空中采用收小腿、抬头后仰、上体后倒下探的动作，使臀部向上抬起形成‘背弓’，这里的收小腿、抬头后仰、上体后倒下探的动作就是‘补偿运动’。”[②]由此可见，张竣右膝关节角度大小将直接影响“外摆画弧动作”的质量高低，进而影响其身体旋转速度，从而影响其运动成绩。

---

① 文世林.我国两名优秀男子铅球运动员旋转推铅球技术的三维运动学分析[D].硕士学位论文，首都体育学院，2009

② 张燕中.补偿运动原理在体育教学中的运用[J].安徽体育科技，2004,05（3）：122-123

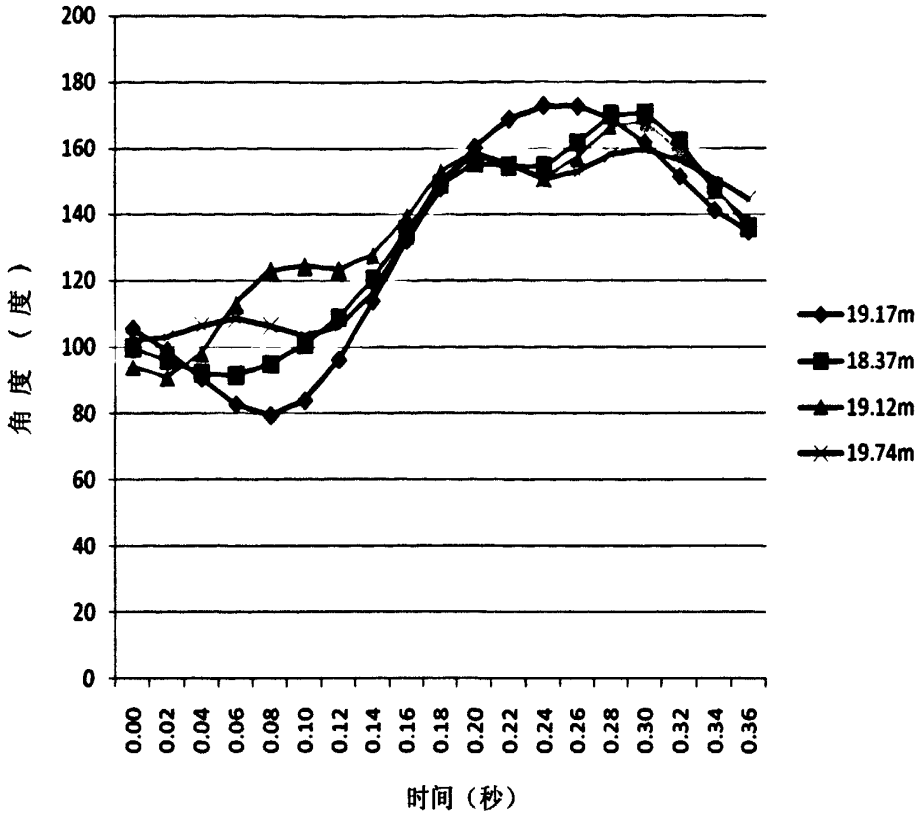


图 6 单支撑阶段右膝关节角度变化曲线图

表 20 单支撑阶段右膝关节角度

成 绩	时 刻			
	开始时刻	结束时刻	最大时刻	最小时刻
19.74 米	101.86 度	144.35 度	159.58 度	101.86 度
19.17 米	105.56 度	134.75 度	172.71 度	79.25 度
19.12 米	94.07 度	137.70 度	167.71 度	90.82 度
18.37 米	99.79 度	136.08 度	170.49 度	91.14 度

图 6 结果显示，张竣投掷成绩为 19.74 米时，单支撑阶段右膝角度变化规律为：保持不变～增大（160 度左右）即伸右膝关节增大旋转半径～减小（144 度左右）即屈膝减小旋转半径，为下一技术阶段屈右膝向投掷圈圆心平稳落地做好准备。

从图 6 我们可以看出，在单支撑阶段开始到结束，右膝关节角度整体变化趋势为先增大再减小。前期右膝关节角度增大是为了增大旋转半径提高投掷方向的线速度，后期减小是为了下一腾空阶段的靠近圆心点平稳落地做好准备。同时我

们发现，成绩最好（19.74 米）的那次试投中，右膝关节角度在 0～0.10 秒期间变化不大，而其他 3 次试投均有明显变化，中后期四次试投的右膝关节角度变化趋势基本一致，说明单支撑阶段前期右膝关节的平稳外摆或许是影响运动成绩因素之一。

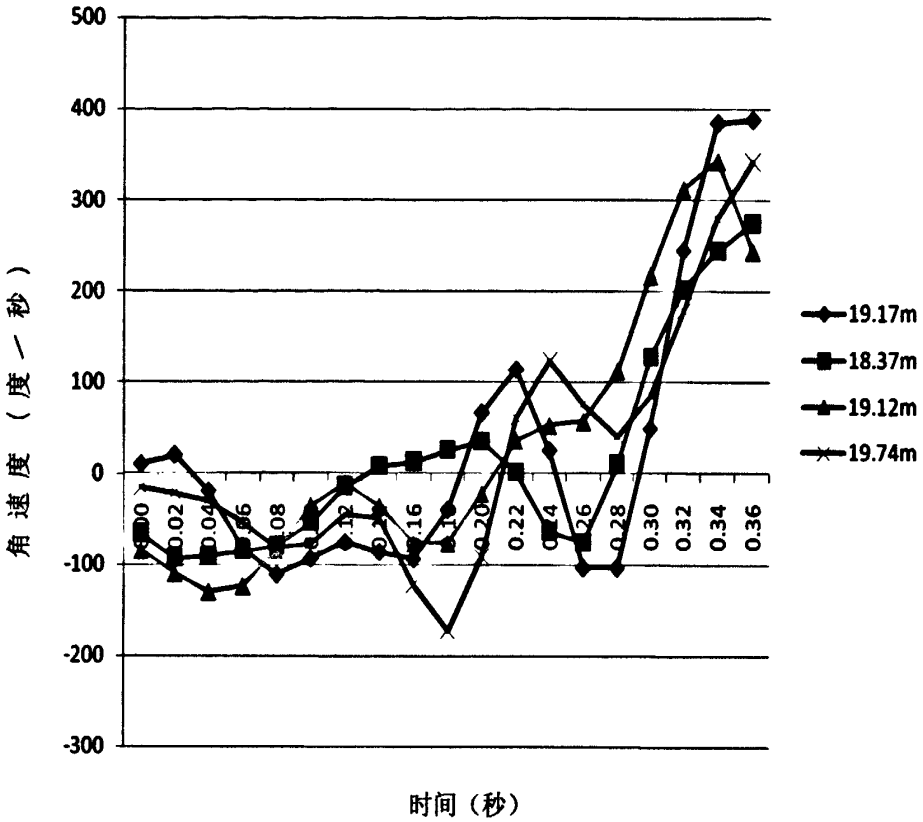
通过影像解析，我们得出开始时刻、结束时刻、关节角度最大时刻以及关节角度最小时刻的右膝关节角度（见表 20）。根据上述数据我们发现，在成绩最好的（19.74 米）试投中，单支撑阶段开始时刻，右膝关节角度在 102 度左右，也是整个阶段的最小值，说明后阶段为了加大旋转半径，右膝关节是伸的，但是最大角度不超过 160 度，否则会影响运动成绩，说明“外摆画弧动作”半径越大会不利于下一阶段右腿向投掷圈圆心平稳落地。

3.3.4 右肩关节角速度的变化特征分析

右肩关节角速度即单位时间内右肩关节变化的角度，反映了张竣在单支撑阶段高速旋转的情况下持球的稳固性。

表 21 单支撑阶段右肩关节角速度

成 绩	时 刻	
	开始时刻	结束时刻
19.74 米	-15.20 度/秒	342.09 度/秒
19.17 米	10.48 度/秒	388.74 度/秒
19.12 米	-84.01 度/秒	244.76 度/秒
18.37 米	-65.48 度/秒	274.90 度/秒



注：以右肩关节冠状面外展为关节角速度正方向，内收为负方向

图 7 单支撑阶段右肩关节角速度变化曲线图

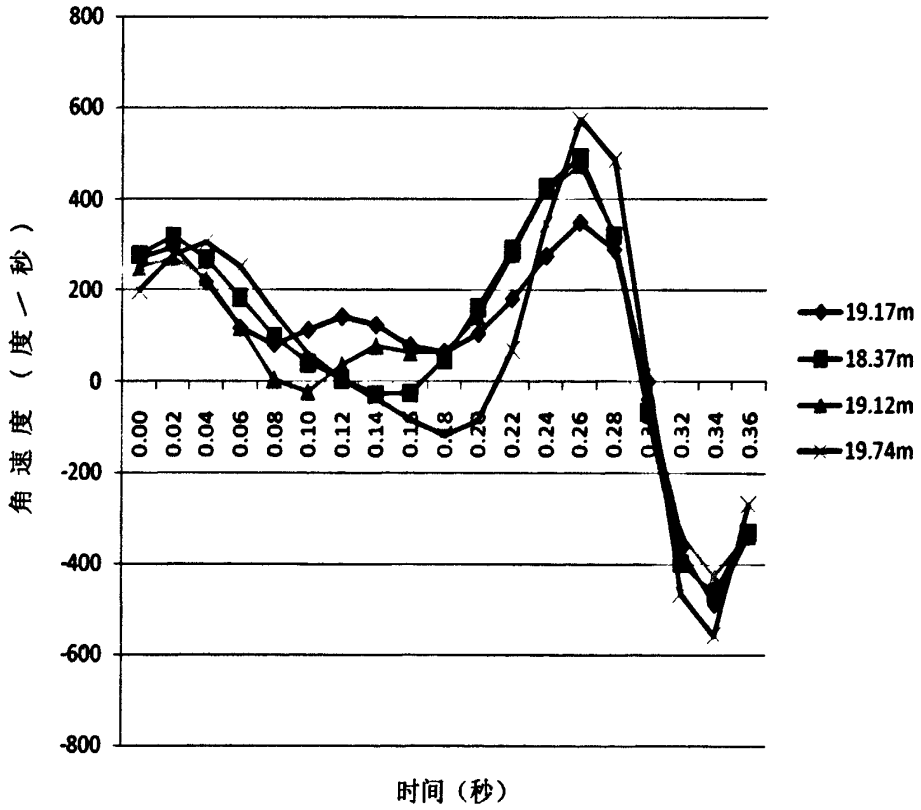
从图 7 中我们可以看出，张竣单支撑阶段右肩关节角速度变化规律大致为：加速内收～减速内收～加速外展～减速外展～加速外展，根据旋转推铅球技术动作，我们发现单支撑阶段前半期内收是为了减小旋转半径，从而提高旋转角速度，后半期的外展是为了加大旋转半径，从而提高投掷方向的线速度，也为最后用力最好充分准备。同时通过影像解析，我们得出单支撑阶段开始时刻和结束时刻右肩关节角速度（见表 21）。根据上述数据，我们还发现，成绩最好（19.74 米）的试投中，右肩关节角速度变化与其他 3 次试投有 4 处明显不一样的地方：1. 开始时刻右肩关节内收比较慢，不像其它 3 次试投内收过快，甚至外展。内收过快会影响铅球固定，外展更加不利于铅球的固定。2. 在 0.14 秒～0.18 秒时段是加速内收，而此时其他 2 次试投已开始减速内收，甚至成绩最差（18.37 米）的试投已开始外展。3. 在 0.24 秒～0.28 秒时段是减速外展，而其他 3 次中有 2 次此时是内收，1 次是加速外展；4. 在 0.28 秒～0.36 秒时段是持续加速外展，而

其他 3 次中有 2 次在最后时刻出现减速情况。

我们知道，在实际训练中并不可能将时间以及关节角速度掌握得那么精确，我们只能提醒张竣，在单支撑阶段前三分之一阶段右肩关节角度应该控制在 15 度/秒左右慢慢内收，紧接着加速内收，即减小旋转半径，从而提高旋转角速度，之后持续加速外展，即加大旋转半径，从而进一步提高投掷方向的线速度，整个单支撑阶段右肩关节角速度变化规律大致为加速内收～减速内收～加速外展～减速外展～加速外展。

3.3.5 左髋关节角速度的变化特征分析

左髋关节角速度即单位时间内左髋关节变化的角度，反映了张竣单支撑阶段躯干的稳定性。



注：以左髋关节矢状面伸为关节角速度正方向，屈为负方向

图 8 单支撑阶段左髋关节角速度变化曲线图

表 22 单支撑阶段左髋关节角速度

成 绩	时 刻	
	开始时刻	结束时刻
19.74 米	197.47 度/秒	-269.75 度/秒
19.17 米	269.22 度/秒	-339.41 度/秒
19.12 米	249.49 度/秒	-335.65 度/秒
18.37 米	276.99 度/秒	-330.77 度/秒

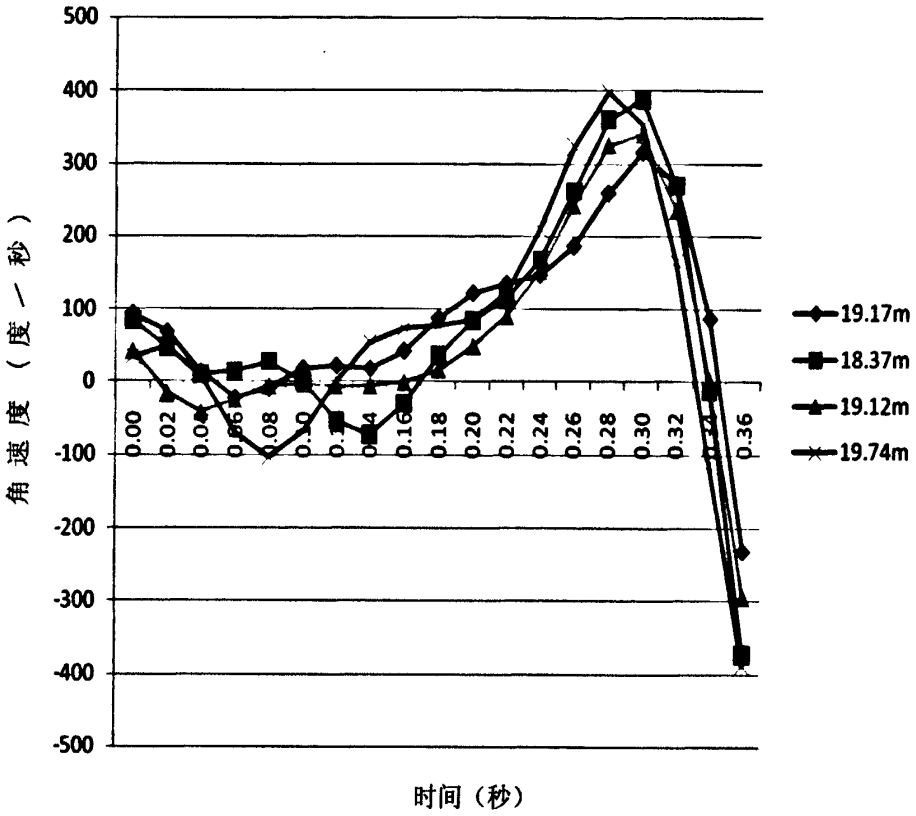
从图 8 我们发现，张竣投掷成绩为 19.74 米时，张竣单支撑阶段左髋关节角速度变化趋势是：加速伸～减速伸～加速屈～减速屈～加速伸～减速伸～加速屈～减速屈，前四分之三阶段伸尤其是在第三个四分之一阶段的加速伸是为了将身体重心在垂直方向迅速上移，便于加速旋转进入下一阶段，同时根据影像解析得出的单支撑阶段开始时刻和结束时刻左髋关节角速度（见表 22）。

通过上述这些数据以及图 8 我们可以看出成绩最好（19.74 米）的那次试投的左髋关节角速度变化与其他 3 次试投有 3 处明显不一样的地方：1. 开始时刻左髋关节伸得较慢，即慢慢抬高重心，结束时刻左髋关节屈得较慢，即慢慢降低重心。2. 在 0.14 秒～0.20 秒时段，左髋关节是屈的，而其他 3 次都是伸的；3. 正负方向的最大左髋关节角速度都是这次试投的。这些很有可能是造成成绩差异的重要因素。

由此，我们可以在平时训练时提醒张竣，在单支撑阶段左髋关节角速度应遵循加速伸～减速伸～加速屈～减速屈～加速伸～减速伸～加速屈～减速屈的变化趋势，在开始时刻左髋关节伸得慢一点，即慢慢提高身体重心，然后慢慢屈左髋，即慢慢地降低身体重心，紧接着以最大关节角速度加速伸左髋再以最大关节角速度加速屈左髋，结束时刻左髋关节屈得慢一点，这样做可能会进一步提高运动成绩。

3.3.6 左膝关节角速度的变化特征分析

左膝关节角速度即单位时间内左膝关节变化的角度，反映了单支撑阶段支撑脚的稳定性。



注：以左膝关节矢状面伸为关节角速度正方向，屈为负方向

图 9 单支撑阶段左膝关节角速度变化曲线图

表 23 单支撑阶段左膝关节角速度

成 绩	时 刻	
	开始时刻	结束时刻
19.74 米	34.68 度/秒	-388.11 度/秒
19.17 米	92.97 度/秒	-231.31 度/秒
19.12 米	42.79 度/秒	-294.56 度/秒
18.37 米	83.44 度/秒	-373.47 度/秒

从图 9 我们可以清楚地看到，张竣单支撑阶段左膝关节角速度变化规律大致是：减速伸～加速伸～减速伸～加速屈，加速伸是为了蹬离地面，加速屈是为了下一阶段腾空做准备，同时，通过影像解析，我们得出单支撑阶段开始时刻和结束时刻左膝关节角速度（见表 23）。

通过上述数据以及图 9，我们可以看出成绩最好（19.74 米）的那次试投的左髋关节角速度变化与其他 3 次有 3 处明显不一样的地方：1. 单支撑阶段开始时

刻左膝关节伸得较慢，结束时刻左膝关节屈得较快，加快左腿膝盖的弯屈，可以更加快速地缩小转动半径，为缩短腾空阶段持续时间做好准备，使右脚更快地向投掷圈圆心位置着地。2.在0.06秒～0.12秒时段，左膝关节是快速弯屈的，而其他3次是伸左膝关节的或弯屈的速度不够快，快速弯屈可以为后面的伸膝做好充分的准备；3.在这次试投中正负方向的左膝关节最大角速度都比其它3次试投要大，说明左膝关节的快速屈伸是为了使左膝关节蹬离地面更快速、更有力。

根据这些结果，我们可以提醒张竣，在平时训练时要注意在单支撑阶段左膝关节变化规律为：减速伸～加速伸～减速伸～加速屈。开始时刻左膝关节伸得慢一点，即慢慢提高重心，紧接着快速屈左膝关节，为接下来的蹬伸最好准备，然后以最大关节角速度加速伸左膝关节，即用力蹬离地面，结束时刻左膝关节屈得快一点，为下一阶段做好准备。

4 结 论

4.1 在张竣旋转推铅球的单支撑阶段，其右肩关节角度、左髋关节角度、右膝关节角度、右肩关节角速度、左髋关节角速度、左膝关节角速度等 6 个指标与铅球运动成绩有显著相关性。

4.2 在张竣旋转推铅球的单支撑阶段，其主要关节角度的变化特征是：右肩关节角度先减小后增大；左髋关节角度先增大后减小；右膝关节角度先增大再减小。

4.3 在张竣旋转推铅球的单支撑阶段，其主要关节角速度的变化特征是：右肩关节加速内收～减速内收～加速外展～减速外展～加速外展；左髋关节加速伸～减速伸～加速屈～减速屈～加速伸～减速伸～加速屈～减速屈；左膝关节减速伸～加速伸～减速伸～加速屈。

5 建 议

建议教练员在平时指导训练时，多关注上述这些指标在单支撑阶段的变化，并设计有效的训练手段进行针对性训练；张竣在技术训练中，也应尽可能暗示自己单支撑阶段主要关节角度和角速度遵循上述变化特征完成动作，使旋转推铅球技术更加合理和有效，促进运动成绩的进一步提高。

本研究虽采用了四台摄像机进行拍摄，但因为现实条件限制，导致在实际操作中无法完成俯视拍摄。今后的研究应努力创造更好的条件，实现多角度的拍摄，提高观测效果，取得更多的观测指标和数据，使研究更加科学、合理和有效，是旋转推铅球技术研究今后应努力的方向。

参考文献

[1] Bartonietz. Australian Institute of Sport [M].Unpublished Translation,1990

[2] Günter, T. Model Technique Analysis Sheet for The Throwing Events- The Shot Put[J].New Studies in Athletics,1990,(1)；44-60

[3] Günter, T. Shot Put[J].Modern Athlete & Coach,2008,2:24-31

[4] Hsiente, P., Chenfu, H. & Channeng, K. A Biomechanical Analysis of The Rotational Shot Put Technique-A Case Study[EB/01]. http://www.ntnu.edu.tw/acad/docmeet/

[5] Hsiente, P., Chenfu, H. & Channeng, K. Dynamics of The Shoulder and Elbow Joints of The Throwing Arm During Rotational Shot Putting - Case Study[EB/01].http://www.ntnu.edu.tw/acad/docmeet/

[6] Kyriazis, T. A., Terzis, G., Boudolos, K.,*et al.* Muscular Power, Neuromuscular Activation, and Performance in Shot Put Athletes At Preseason and at Competition Period[J].The Journal of Strength and Conditioning Research ,2009(6):1773-1779

[7] Laurent, F., James, S., John, E., Alison O'R.,*et al.* Quality Control Procedure for Kinematic Analysis of Elite Seated Shot-Putters During World-Class Events[J].The Sport Journal,2008,11(1)

[8] Michael, Y. Development and Application of an Optimization Model for Elite Level Shot Putting[D].the degree of Doctor of Philosophy Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College,2009

[9] Milan, Č.,Matej, S., Stanko, Š.,*et al.* Biodynamic Analysis of the Rotational Shot Put Technique[J].Track Coach,181:5769-5775

[10] 陈道裕，郑建岳，陈兰芳. 旋转推铅球技术对我国男子运动员适用性的探讨[J]. 中国体育科技，2002，38（10）：22-23

[11] 陈利霞. 全国第十届运动会男子铅球运动员推铅球技术运动学分析[D]. 硕士学位论文，山西大学，2007

[12] 高峰，李晓芸.中国铅球运动员运用旋转推铅球技术的优越性[J].浙江体育科学，2005，10：81-82

[13] 郭立亚，孙仕舜和吕雪松.我国男子铅球运动员采用旋转式推铅球技术的可行性研究[J].北京体育大学学报，2008，31（2）

[14] 黄昌美，刘刚和李梦龙等.背向旋转推铅球技术在田径普修中的实验研究[J].吉林体育学院学报，2009，25（4）：45-46

[15] 黄汉升．体育科学研究方法[M].北京：高等教育出版社，2007

[16] 黄健，于军.国内男子铅球运动员使用旋转技术的现状分析及研究[J].辽宁体育科技，2007，29（1）：70-72

[17] 季虎.论旋转式投掷铅球技术的优越性[J].济南大学学报，2000，10（5）：88-89

[18] 江涛.在我国推行旋转式投掷铅球技术的设想[J].体育学刊，1995，（2）：87-88

[19] 金季春.运动生物力学高级教程[M].北京：北京体育大学出版社，2007：408-411

[20] 克里斯·萨默劳特（美）著，曹皖苏译.“旋转式”投掷铅球的技巧[J].安徽体育科技，1986，（1）：61-63

[21] 肯·奥博森著，余克望译.铅球背向滑步技术和旋转技术的比较研究[J].辽宁体育科技，1986，（3）：9-13

[22] 拉里·伍·贾吉（美）著，刘曙，刘兵，程卫军译.旋转式推铅球的教学法[J].安徽体育科技，1994，（4）：40-43

[23] 勒·斯·霍缅科夫（苏）著，郝成硕等译.田径教练员教科书[M].北京:人民体育出版社，1985：474-477

[24] 李铁录，李福全.亨特旋转推铅球技术[J].田径，2001，6：62

[25] 李延军，孙有平和隋新梅等.旋转推铅球过渡阶段肌肉用力特征的 sEMG 分析[J].北京体育大学学报，2010，,3（5）：50-54

[26] 刘北湘.运动生物力学：运动技术分析与评价[M].成都：四川科学技术出版

社，2008：21-29

[27] 刘璠.谈旋转推铅球技术的优越性[J].辽宁体育科技,2002,24(1)：16-17

[28] 刘剑锋.对旋转推铅球训练手段效果的实验研究[D].硕士学位论文，北京体育大学，2006

[29] 刘明，金云和邢晓东.推铅球运动项目发展的回顾与展望[J].山东体育科技，2001，23（4）：5-8

[30] 刘涛，于军.青少年铅球运动员旋转技术分析与训练[J].体育师友，2006（4）：22-23

[31] 刘瑞江.旋转推铅球技术之研究[D].硕士学位论文，山东师范大学，2000

[32] 卢义锦，姚士硕.人体解剖学[M].北京：高等教育出版社，2004

[33] 毛永，郑峰和何明等.推铅球技术的演变暨旋转式推铅球技术的要点和难点[J].山东体育科技，2002，24（1）：1-4

[34] 帕姆.关于旋转推铅球的生物力学分析[J].国外体育科技,1991,(4):18-20

[35] 申伟华.英汉对照田径双语教材[M].湘潭：湘潭大学出版社，2007：266-287

[36] 孙有平，隋新梅和钱风雷等.基于 sEMG 的男子旋转推铅球运动员单支撑阶段肌肉用力特征研究[J].体育科学，2010，30（1）：44-50

[37] 田鑫.旋转推铅球的技术分析与训练[J].首都体育学院学报，2003，15（3）：41-43

[38] 王路德.体育统计方法与运用[M].北京：人民体育出版社，2008

[39] 文世林.我国两名优秀男子铅球运动员旋转推铅球技术的三维运动学分析[D].硕士学位论文，首都体育学院，2009

[40] 熊西北，马明彩.田径中级教程运动技术教学理论与方法[M].北京：北京体育大学出版社，1999：259-264

[41] 徐彬，郭红梅.计算机辅助研究论文写作指南[M].山东：山东教育出版社，2009

[42] 薛薇.统计分析与 SPSS 的应用（第二版）[M].北京：中国人民大学出版社，2008

[43] 严海风.我国部分优秀男子铅球运动员背向滑步推铅球技术三维运动学参数分析[D].硕士学位论文，苏州大学，2006

[44] 闫永柱.旋转式推铅球技术的优越性及其在我国适用性的探讨[J].山西体育科技，2007，27（4）：31-34

[45] 杨晓明.SPSS在教育统计中的应用[M].北京：高等教育出版社，2006

[46] 《运动生物力学》编写组.运动生物力学（第二版）[M].北京：高等教育出版社，2000：189-191

[47] 张宝峰，李风雷.旋转推铅球技术优势的生物力学分析.[J]首都体育学院学报，2003，18（2）：76-77

[48] 张红兵，贾来喜和李潞.SPSS宝典[M].北京：电子工业出版社，2008

[49] 张怀金，胡金平.对男子旋推铅球技术优点的研究[J].山东教育学院学报，2003，(3)：105-106

[50] 张力为．体育科学研究方法[M].北京：高等教育出版社，2006

[51] 张沁.旋转推铅球技术优势与亚洲铅球运动发展[J].重庆文理学院学报（自然科学版），2006，5（3）：34-36

[52] 张文彤，董伟.SPSS统计分析高级教程[M].北京：高等教育出版社，2004

[53] 张燕中.补偿运动原理在体育教学中的运用[J].安徽体育科技，2004,05（3）：122-123

[54] 张英波.旋转式推铅球技术特点及其与背向滑步推铅球技术生物力学参数对照[J].田径，1994，(4)：5-6

[55] 张英波.投掷名家论旋转推铅球②[J].田径，2000（4）：35-37

[56] 张英波.推铅球——现代投掷技术与训练[M].北京：北京体育大学出版社，2003

[57] 张英波.现代田径运动训练方法[M].北京：北京体育大学出版社，2005：177-180

[58] 崇秀云,周家瑜.铅球技术的发展与回顾[J].田径,1984,(2):28-30

附录一 作者攻读硕士学位期间参与的科研项目

[1] 教育部人文社科规划基金项目《反思与重构：基础教育田径课程改革的可持续发展研究》，项目编号：10YJA880124，立项时间：2010.11

[2] 上海市教委学校体育科研课题《生命关照下的中学田径课程体系建构与实践探索》，课题编号：HJTY-2010-C11，立项时间：2010.12

[3] 上海市体育局科研攻关与科技服务课题《优化上海市田径队男子铅球运动员专项力量训练方法的应用研究》，课题编号：08JT030，研究时间：2008.9-2009.12

[4] 华东师范大学教学建设项目（专业核心课程）《田径专项专修》，项目编号：52160025，研究时间：2008.7-2010.7

[5] 华东师范大学教学建设项目（研究型课程）《运动训练问题研究》，项目编号：52160277，研究时间：2009.7-2010.7

附录二 作者攻读硕士学位期间发表的文章

[1] 高师运动训练专业课程设置的比较，《体育科研》（CSSCI 扩展版来源期刊）2009 年第六期，第一作者

后 记

当我对这篇论文完成最后一次的修改后，我长长地舒了一口气，完成硕士毕业论文，对我来说是一项重大的挑战，也是一个新的起点。在此次研究中，我收获了很多，得到的是过去几年没有学到的或体会到的，同时也在心里感谢许许多多帮助我完成论文的人。

首先要感谢我的导师孙有平教授，在三年的研究生生活里，孙老师不仅是我的良师更是我的益友。在学业上，孙老师给予我悉心的指导和鼓励，当研究遇到困难的时候，孙老师的谆谆教诲和指点总是能让我能够重新理清其逻辑思路，从而找到继续努力的方向，这些我都将铭记于心。孙老师渊博的学识，严谨的逻辑思维使我受益终生。在工作上，孙老师严肃的科学态度，严谨的治学精神，精益求精的工作作风，深深地感染和激励着我。在生活上，孙老师总是能给我一些建议，鼓励我高效地完成研究之余尽可能地发展自己的专项技能，教会了我很多为人处世的道理。在论文完成之际，谨向孙老师表示最衷心的感谢和深深的敬意！

其次，在资料收集、实验实施以及论文撰写过程中，上海体育学院旋转推铅球研究专家王卫国教授和张竣的主管教练——上海市体育局体工队隋新梅教练员、上海市体育科研所（莘庄基地）的老师们给予了大力支持。上海体育科学研究所许以诚研究员和上海体育学院伍飚博士，在研究设计、实验实施，以及影像解析中提供了许多有益的指导和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

再次，我要感谢我的亲人朋友。感谢我的父母，是父母这么多年的辛苦，支持和鼓励才让我能够顺利地完成硕士研究生阶段的学习。他们哺育我成长付出了一辈子的心血，衷心地祝福他们身体健康。

最后，我要感谢华东师范大学体育与健康学院，在这里我度过了人生中最美好的三个春秋。