

博士学位論文審査報告書

大学名	早稲田大学
研究科名	スポーツ科学研究科
申請者氏名	欠畑 岳
学位の種類	博士 (スポーツ科学)
論文題目	Control of the thigh muscle activity in both legs during sprinting スプリントにおける両脚の大腿筋活動の制御
論文審査員	主査 早稲田大学教授 彼末 一之 医学博士(大阪大学)/工学博士(大阪大学) 副査 早稲田大学教授 土屋 純 博士 (人間科学) (早稲田大学) 副査 早稲田大学教授 矢内 利政 Ph.D (University of Iowa) 副査 早稲田大学教授 川上 泰雄 博士 (教育学) (東京大学) 副査 早稲田大学教授 磯 繁雄

本学位論文は、走運動、特に高速度のスプリントにおける両脚の大腿筋の活動のタイミングに着目し、新しい筋制御の指標を提案しながら、その筋制御についてスプリントのパフォーマンスとの関連性について解明することを目的とした。本学位論文は、第5章から構成されている。

【第1章：緒言】

日常生活やスポーツに至るあらゆる場面で、走運動は最も基本的かつ重要な能力である。走運動のうち「如何に速く走るか」という能力であるスプリントは、陸上競技の短距離種目など多くのスポーツにおいて特に重要な能力である。スプリントは両脚の役割(スウィング脚と接地脚)がランニングサイクルを経るごとに入れ替わる周期的な運動であり、陸上競技の短距離走の指導現場でも、両脚を接地の瞬間に素早く挟み込む、“シザース動作”の重要性が広く認知されている。しかし、これまでのスプリントに関する研究は、どちらか片脚だけの筋活動を取得するに留まっており、“走運動は両脚の協調運動である”という視点が欠如しており、両脚の筋活動とパフォーマンスとの関係性は不明な点が多い。そこで、本学位論文では短距離走の指導現場に筋制御の観点から科学的根拠を提示するため、短距離走で特に重要な力発揮を担う股関節筋のうち大腿直筋(Rectus Femoris: RF)と大腿二頭筋(Biceps Femoris: BF)に着目し、様々な条件下のスプリントにおける両脚の大腿筋活動の制御の特徴を解明することを目的とした。

【第2章：全力疾走における両脚の大腿直筋と大腿二頭筋の活動のタイミング】

被験者はオリンピック出場者を含む陸上競技短距離選手 18名(WA point 1052点:男子 100m走 10.46秒相当)であった。50m全力疾走中の両脚の大腿直筋(RF)および大腿二頭筋(BF)の筋活動をワイヤレス筋電装置(Delsys Trigno Wireless Sensor)にて取得した。基準脚側(ipsilateral)のRF(iRF)、BF(iBF)に加え、反対脚側(contralateral)のBF(cBF)のランニングサイク

ルにおける筋活動の onset/offset のタイミング(%)を算出した。これらを基に、筋制御の評価指標として、同側の主動筋と拮抗筋の切り換えに要した時間の指標である“Switch1” (iBF-offset から iRF-onset)、“Switch2” (iRF-offset から iBF-onset)をそれぞれ算出した。また、両脚の主動筋(接地脚の BF とスウィング脚の RF)の活動のタイミング差(同調性)の指標である “Scissors1” (cBF-onset から iRF-onset)および“Scissors2” (iRF-offset から cBF-offset)を算出した。そして、時空間的変数(走速度、ピッチ、ストライド)との相関関係を Pearson の積率相関係数により検討した。その結果、走速度と iRF-offset ($r = -0.527, P = 0.025$)に有意な負の相関関係が認められた。またピッチと iRF-onset ($r = -0.652, P = 0.003$)および iRF-offset ($r = -0.498, P = 0.035$)に有意な負の相関関係が認められた。筋制御についても、ピッチと “Switch2”に有意な正の相関関係が ($r = 0.495, P = 0.037$)、“Scissors1” ($r = -0.469, P = 0.049$)および“Scissors2” ($r = 0.574, P = 0.013$)にそれぞれ有意な相関関係が認められた。まとめると、ピッチの高い選手の特徴として① “Switch”に優れ主動筋(iRF)と拮抗筋(iBF)が同時収縮する現象である共収縮がなく、素早い関節運動に合理的な筋制御であったこと、② 股関節屈曲のために働くスウィング脚の主動筋(iRF)と、股関節伸展のために働く反対側の接地脚の主動筋(cBF)との時間差が少ないという両脚の同調性の能力に優れていたことが明らかとなった。

なお、本章の内容は『*Medicine & Science in Sports & Exercise*』に掲載された。

【第3章：異なる走速度における両脚の大腿直筋と大腿二頭筋の活動のタイミング】

第2章と同一の被験者は、異なる7つの主観的努力度(Subjective Effort: SE) [20 % SE ($3.77 \pm 0.47 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 40 % SE ($6.44 \pm 0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 60 % SE ($8.00 \pm 0.60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 80 % SE ($9.09 \pm 0.58 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 90 % SE ($9.48 \pm 0.62 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 95 % SE ($9.70 \pm 0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 100 % SE ($9.82 \pm 0.58 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)]による条件で50 m 走を実施した。第2章と同様の手法で筋活動のタイミング、“Switch”、“Scissors”および時空間的変数を取得した。対応のある一限配置分散分析(ANOVA)の結果、SE すなわち走速度の変化(= 457.4, $p < 0.001$, effect size (ES) $\eta^2 = 0.964$)はピッチで制御されており ($F = 274.0, p < 0.001, ES = 0.942$)、13名が100 % SE で最速となった。一方、95 % SE (3名)、90 % SE (2名)で最速となる選手も存在し、選手の主観と客観は必ずしも一致しないことが示された。このとき、一部の選手は95 % SE においてスウィング期後半の “Switch2”が改善され、共収縮が無い明確な交互収縮が認められ、かつ走速度、ピッチ、ストライドも改善されるという個人差が存在することが確認された。このことは、SE の変化という上位からの指令が筋活動の “リラックスした状態”を誘発し、パフォーマンスに好影響を与えていた可能性を示す。また、高速度($9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$: 80-100 % SE)では、RF および BF の筋活動量(RMS)が増加し(iRF: $F = 29.4, p < 0.001, ES = 0.634$, iBF: $F = 30.2, p < 0.001, ES = 0.640$, cBF: $F = 21.3, p < 0.001, ES = 0.556$)、それら筋活動の相対時間におけるタイミングも変化した[iRF-onset ($F = 23.6, p < 0.001, ES = 0.581$)、iRF-offset ($F = 33.2, p < 0.001, ES = 0.662$)、iBF-offset ($F = 23.8, p < 0.001, ES = 0.584$)、iBF-onset ($F = 7.2, p < 0.001, ES = 0.297$)、cBF-onset ($F = 10.5, p < 0.001, ES = 0.382$)、cBF-offset ($F = 18.7, p < 0.001, ES = 0.524$)]ことから、股関節伸展・屈曲を強調させ、高いピッチ(4 Hz~)を獲得する戦略にシフトしたと考えられる。また SE(走速度)の増加に従い、ランニングサイクルの時間は減少(ピッチは増加)していく一方で、RF の活動の実時間が特に増加した($F = 28.9, p < 0.001, ES = 0.629$)ことから、RF の役割はスウィング(リカバリー)脚の速度を増加させることで、ピッチの増加に貢献することと推察される。ただし、RF-offset の遅れはスウィング期後半の共収縮を生じさせ、ピッチに悪影響を及ぼす可能性があり、筋活動を積極的に終わらせる(弛緩させる)という視点もスプリントで重要であろう。

【第4章：100m 走における両脚の大腿直筋と大腿二頭筋の活動のタイミング】

被験者は陸上競技短距離選手 10 名(WA point 1030 点：男子 100 m 走 10.53 秒相当)であった。データロガー筋電図装置(Delsys Trigno Personal Monitor)を被験者の腰部に装着し 100 m 全力疾走中の両脚の RF、BF の筋活動を記録した。第 2 章、3 章と同様に筋活動のタイミング、“Switch”、“Scissors”を取得した。2 台のハイスピードカメラの映像より、10 m ごとの時空間的変数を算出し、最高走速度局面(50-70 m)と減速局面(80-100 m)における時空間的変数および筋活動のタイミング、筋制御の指標を対応のある t 検定により比較した。結果、減速局面ではストライドは有意な変化は示さず ($p = 0.161, d = 0.15$)、走速度 ($p < 0.001, d = 0.86$) とピッチ ($p < 0.001, d = 0.75$)が有意に減少した。また、減速局面では iRF-onset ($p = 0.024, d = 0.70$)、iRF-offset ($p = 0.020, d = 0.70$)、iBF-offset ($p = 0.047, d = 0.79$)、cBF-offset ($p = 0.015, d = 0.83$)の活動のタイミングがサイクルの後半に遅れた。さらに減速局面では、“Scissors 1”が有意に増加した($p = 0.048, d = 0.27$)。つまり、接地脚の cBF の活動に対してスウィング脚の iRF の活動が遅延し、結果的に股関節屈曲のタイミングすなわちスウィング脚のリカバリー動作が遅れたと推察される。これら 100 m 走の後半の筋活動のタイミングの変化が、リカバリー動作の遅れとなり、ピッチの低下を惹起し、速度逡減の要因であることが推察された。

【第5章：総括論議】

一連の研究より、同側および両脚の大腿筋の制御の指標である“Switch”および“Scissors”は、スプリントにおけるパフォーマンス(ピッチ)に影響し(Chapter 2)、主観的努力度(走速度、ピッチ)の変化に対応し(Chapter 3)、さらに100 m走のレース後半の減速(ピッチの低下)の要因である可能性が示唆された(Chapter 4)。走速度の変化はピッチにより制御されているが(Chapter 3)、ピッチの増加はランニングサイクルの短縮を意味する。一方、RFの活動する時間は増加していくことから、高いピッチが要求される高速度のスプリントでは、RFの活動がより重要となる。その際、同側の主動筋と拮抗筋を明確に切り替える能力(“Switch”)は、共収縮が発生しやすくなるため特に高速度では難しくなる。また、両脚の主動筋を時間差なく活動させる能力(“Scissors”)は、特にピッチが増大する高速度で要求される。そしてピッチの高い選手は“Scissors”の能力に優れ(Chapter 2)、ピッチの高い最高速度局面では“Scissors”が有意に短いことから(Chapter 4)、接地脚BFに対するスウィング脚RFの早いタイミングでの活動が高いピッチの獲得・維持に貢献していることが明らかになった。

これらの知見から、スプリント能力の向上は股関節筋を強く活動(収縮)させるだけでなく、適切なタイミングで活動させること、さらに積極的に抑制(弛緩：リラックス)させるといった“両脚の協調(同調)運動”という観点から考慮されるべきであると考えられる。

研究内容は、スプリントというダイナミックな運動中、特に高速度域かつ100 m走の全体を通した筋活動の記録を実現し、さらにこれまでの走運動に関する先行研究で一般的な解釈が促されていた同側の筋活動だけでなく、両脚の振る舞いを含めた筋活動について定量的に示しながら、新しい筋制御の指標を提案し、あらゆる条件下におけるスプリントにおける筋活動を観察することで、スプリントにおける大腿筋活動の制御の特徴を高度な専門的知識に基づき解明したものである。本研究で解明された、両脚の筋活動のタイミングは、スプリントの指導現場で、広くその重要性が説かれている“シザース動作”と呼ばれる「接地の瞬間に両脚を素早く挟み込むような走動作」の特徴と対応しており、短距離走の指導現場におけ

るトレーニング方法や指導方法への応用可能性を示唆しており、今後のトップスプリンターの育成や短距離走のスプリントの指導方法の構築に大きく貢献するものと考えられる。

研究内容は、本研究科入学後の研究成果であり、独創性と学術的意義をもつことが認められる。したがって、博士（スポーツ科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

学術論文

Gaku Kakehata, Yuta Goto, Sigeo Iso, Kazuyuki Kanosue. Timing of rectus femoris

and biceps femoris muscle activities in both legs at maximal running speed. *Medicine &*

Science in Sports & Exercise: August 18 (2020)-Volume Publish Ahead of Print. doi:

10.1249/MSS.0000000000002497

以上