

2012 年度修士論文

サッカー競技のディフェンス局面における
後方への方向転換の速度生成について

指導教員
伊坂忠夫

立命館大学大学院
スポーツ健康科学研究科
スポーツ健康科学専攻修士課程 2 回生
6211110024-7
吉田章吾

目次

第1章 緒論	1
1.1 研究の背景.....	1
1.2 研究の目的.....	4
1.3 本論文の構成.....	4
第2章 方法	5
2.1 被験者.....	5
2.2 実験方法.....	5
2.3 実験設定.....	6
2.4 解析項目.....	8
2.5 統計処理.....	10
第3章 半身姿勢側への方向転換	11
3.1 既知条件と未知条件の動作の比較.....	11
3.1.1 結果.....	12
3.1.2 考察.....	29
3.2 未知条件におけるパフォーマンスレベルによる動作の違いの検討.....	31
3.2.1 結果.....	31
3.2.2 考察.....	34
第4章 非半身姿勢側への方向転換	36
4.1 既知条件と未知条件の動作の比較.....	36
4.1.1 結果.....	37
4.1.2 考察.....	54
4.2 未知条件におけるパフォーマンスレベルによる動作の違いの検討.....	56
4.2.1 結果.....	56
4.2.2 考察.....	59
第5章 総合討論	62
第6章 結論	65
文献	66

要旨

「サッカー競技のディフェンス局面における後方への方向転換の速度生成について」

【背景】

サッカー競技の1対1の攻防におけるディフェンスの後方への方向転換動作は、オフENSEの選手を追従するために重要な動作である。1対1の攻防では、ディフェンスの選手は身体を斜めに向けた姿勢（半身姿勢）で対峙し、オフENSEの選手の動きに反応して斜め後方へ方向転換をする。つまり、ディフェンスの選手は選択的な反応を伴う状況で素早く方向転換を行うことが要求される。しかし、斜め後方への方向転換に特化した研究はなされておらず、パフォーマンス向上のための技術的要因は未だ明らかとされていない。

【目的】

本研究では、サッカーの1対1におけるディフェンスを想定した斜め後方への方向転換動作のパフォーマンスの技術的要因をキネマティクス・キネティクスの観点から検討し、速度生成のメカニズムを明らかにしようとした。

【方法】

被験者は関西学生サッカーリーグ1部の男子大学サッカー選手20名（年齢: 19.7 ± 1.3 歳; 身長: 172.6 ± 5.5 cm; 体重: 69.5 ± 5.9 kg; 平均 \pm 標準偏差）を対象とした。全身44点の3次元座標値および地面反力を、モーションキャプチャシステム(Motion Analysis社, 200Hz, 16台)およびフォースプレート(テック技販社, 1kHz)で計測した。被験者は、半身姿勢(利き脚側)でのサイドステップで約2m後方へ助走をとり、反転動作を伴いながら半身姿勢側もしくは非半身姿勢側135°斜め後方への方向転換後、3mのスプリントを被験者にとって最適動作と考えられる予め移動方向を指示した既知条件と、オフENSEの選手の動きに反応するといった実際の競技場面を想定し、方向転換を行う直前に移動方向を指示する未知条件で行った。未知条件では、助走動作中に光刺激装置が示す移動方向に従い、方向転換を行なった。解析では、方向転換足接地時における動作局面のみを分析対象とした。

【結果と考察】

未知条件において、下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量は、半身姿勢側と非半身姿勢側への方向転換ともに、下肢全体でなされた関節仕事量の80%以上を占めていた。また、方向転換動作中の身体重心スピード変化量との間に有意な相関関係が認められた(半身姿勢側： $r = 0.52$, $p < 0.05$ 、非半身姿勢側： $r = 0.54$, $p < 0.05$)。これらの結果は、斜め後方への方向転換の速度生成には、下肢の伸展/屈曲における仕事の増大が重要であることを示している。半身姿勢側と非半身姿勢側への方向転換の下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量に有意な差は認められなかった ($p = 0.12$)。また、非半身姿勢側への方向転換は、半身姿勢側への方向転換と比較して、身体重心スピード変化量に有意な差は認められなかった ($p = 0.96$)。一方、接地時間は有意に長かった ($p < 0.01$)。そのため、身体重心スピード変化率は、半身姿勢側への方向転換の方が有意に大きかった ($p < 0.01$)。これらの結果は、半身姿勢側への方向転換は短い接地時間で非半身姿勢側への方向転換と同等の下肢の伸展/屈曲における仕事をし、素早く斜め後方へ方向転換が出来ていたことを示す。非半身姿勢側への方向転換は、半身姿勢側への方向転換と比較して、方向転換足が接地した瞬間における新たな移動方向に対する身体の回旋角度(上胴部・骨盤部・足部)が有意に小さかった ($p < 0.01$)。そのため、非半身姿勢側への方向転換は、半身姿勢側への方向転換よりも接地期間中に新たな移動方向へ身体を大きく回旋させる必要が生じ、身体の回旋変位角度が有意に大きくなった ($p < 0.01$)。その結果、非半身姿勢側への方向転換は、半身姿勢側への方向転換と比較して、接地時間が有意に長くなったと考えられる。これらの知見から、身体を新たな移動方向に向けた姿勢で方向転換をすることで、短い接地時間で下肢の伸展/屈曲における関節仕事量を高めることができると示唆された。

【結論】

半身姿勢側・非半身姿勢側のいずれの方向においても、後方への方向転換の速度生成は、下肢の伸展/屈曲における力発揮によって達成されることが示唆された。また、身体を予め新たな移動方向に向けた姿勢で方向転換をすることで、短い接地時間で下肢の伸展/屈曲における関節仕事量を高めることができ、その結果、素早く斜め後方へ方向転換が出来ることが明らかとなった。

Abstract

The acceleration during change of direction for diagonally backward in defensive situation of soccer

Purpose: The movement of the change of direction (COD) for diagonally backward is important for soccer players to chase an opponent's player at 1 on 1 situation. However, there is no study which identifies the mechanism of acceleration during COD for diagonally backward. Therefore, the purpose of this study is to identify the mechanism of acceleration during COD for diagonally backward by investigate technical factors of performance in terms of kinematics and kinetics.

Methods: Twenty male collegiate soccer players voluntarily participated in this study. Kinematics and kinetics data were recorded simultaneously during each performance. The subjects performed the COD task which consisted of the 3m sprint for dominant leg side or non-dominant leg side following the 2m sidestepping approach for backward. The COD task was conducted in anticipated and unanticipated conditions. In the unanticipated condition, the subjects performed COD in accordance with a light stimulus apparatus during the approach.

Results & Discussion: Dominant leg side COD was higher rate of COM speed change ($p < 0.01$) and shorter stance time than non-dominant leg side COD ($p < 0.01$). In both tasks, total joint work at lower extremity around sagittal plane was higher than that of frontal and horizontal plane ($p < 0.01$). These results confirm that the acceleration during COD for diagonally backward was achieved by producing total joint work at lower extremity around sagittal plane. For the rotation angles of upper trunk, pelvis, and foot to the indicated direction, dominant leg side COD was larger angle than non-dominant leg side COD ($p < 0.01$). Accordingly, it is necessary for non-dominant leg side COD to increase the body rotation angle during stance phase compared with dominant leg side COD. Thus, it was considered that stance time was extended in

non-dominant leg side COD, and rate of COM speed change was reduced when compared with dominant leg side COD.

Conclusion: These findings revealed that it is important to increase total joint work at lower extremity around sagittal plane for the acceleration during COD for diagonally backward. It is possible to increase joint work of lower extremity around sagittal plane in short time by turning the body to indicated direction.

第 1 章 緒論

1.1 研究の背景

サッカー・ラグビー・バスケットボールなどのチームスポーツやフィールドスポーツでは、直線走だけでなく、様々な方向への方向転換走が用いられる。Bloomfield et al. (2007) は、サッカー・プレミアリーグのゲーム分析をし、1 試合あたり 727 ± 203 回もの方向転換が行われていることを報告した。その中でも急速な方向転換は、ディフェンスの選手をかわしたりオフENSEの選手を追従したりするための重要な技術である。そのため、現在までに方向転換能力に関する研究が数多くなされてきた。

Sheppard and Young (2006) は、実際の競技場面で見られる方向転換能力は、方向転換スピードのみならず認知・意思決定要因を含む 2 つの要因で構成されると定義した(図 1.1)。

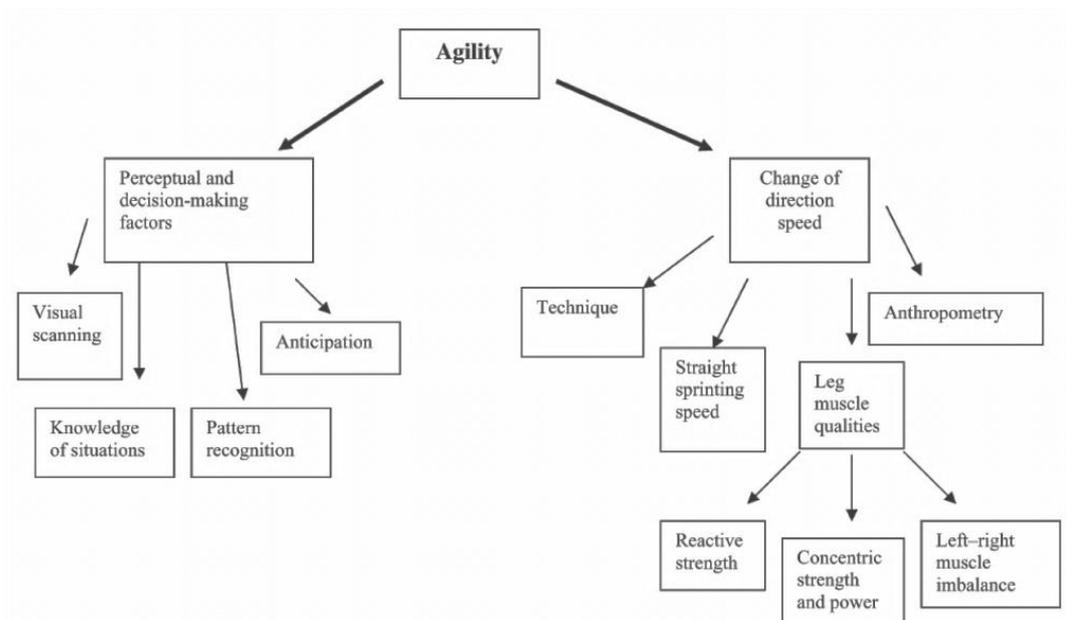


図 1.1 方向転換能力の構成要素 (Sheppard and Young., 2006)

方向転換スピードは、スプリントスピード・脚筋肉の特性・技術・形態学的特徴などの要因から構成されると報告されている(Young et al., 2002)。しかし、スプリント能力と方向転換スピードの関係性については、現在までに統一した見解が得られていない。いくつかの研究では、スプリント能力と方向転換スピードは有意な相関関係があると報告されている(Gabbett et al., 2008; Oliver and Meyers, 2009)。その一方で、スプリント能力と方

方向転換スピードはそれぞれ独立した能力であると報告もされている(Young et al., 2001; Little and Williams, 2005)。このように、統一した見解が得られない理由は、評価に用いた方向転換テストの方向転換回数や方向転換角度などの様式の違いが影響すると考えられる。例えば、Oliver and Meyers (2009)は、直線走から約 40°の方向転換を 1 回行うのみであるのに対し、Little and Williams (2005)は、直線走から約 100°の方向転換を 3 回行う方向転換テストを採用している。これら以外にも、様々な方向転換テストを用いて方向転換能力の評価がなされてきたが(Jones et al., 2008; Salaja and Markovic, 2011)、スプリント能力と方向転換スピードの関係性のみならず、方向転換角度の違いによるパフォーマンスの技術的要因の変容は明らかにされていない。

認知・意思決定要因は視覚的判断・状況認識・動作パターン認識・予測から構成される。Sheppard et al. (2006) は、オーストラリアンフットボール選手を高パフォーマンス群と低パフォーマンス群に分け、予め移動方向を指示する方向転換テスト (CODS test) と方向転換の直前に移動方向を指示する Reactive agility test (RAT) を行い比較した。その結果、CODS test では群間に有意な差は確認されなかったが、RAT では有意な差が確認されたことを報告している。この知見は、実際の競技場面で発揮される方向転換能力を評価するためには、反応を伴う状況で方向転換を行う必要があることを示す。そこで、認知・意思決定要因を含む状況下での方向転換能力・動作を評価するために、多くの研究者は光刺激装置や方向指示装置を用いてきた(Pollard et al., 2004; O'Connor et al., 2009; Green et al., 2011b)。さらに最近では、状況認識・動作パターン認識・予測の要因を含めるために、実際に対人相手を用いたり競技の特異的な映像を用いたりして方向転換能力・動作を評価している(Farrow et al., 2005; Serpell et al., 2010; Wheeler et al., 2011; Young et al., 2011; Bradshaw et al., 2011)。しかし、認知・意思決定要因を含むことによる方向転換のパフォーマンスの技術的要因の変容は明らかにされていない。

一方で、方向転換は、非接触での前十字靭帯 (ACL) の損傷のリスクが高いことが報告されている(Besier et al., 2001b; Lucci et al., 2011; Jamison et al., 2012)。そのため、方向転換動作は ACL 損傷が引き起こされるメカニズムを解明するために、キネマティクス・キネティクスの手法を用いた研究がなされてきた(Besier et al., 2001a; Greig et al., 2009; McLean et al., 2009)。Cortes et al. (2011b) は、180°の方向転換は 45°の方向転換と比較し、膝関節外反角度と膝関節内反モーメントが有意に大きくなること報告した。また、Imwille et al. (2009)は、90°の方向転換は 45°の方向転換と比較し、股関節と膝関節の内旋

角度が有意に大きくなることを報告した。これらのことから、方向転換角度の違いによって下肢のキネマティクス・キネティクスは変容すると考えられる。また、ACL 損傷が引き起こされるメカニズムの解明に関する研究においても、実際の競技場面を想定し、反応を伴う状況での方向転換動作を対象とされてきた(Landry et al., 2007; Sigward et al., 2012)。予め移動方向がわかった状況（既知条件）と認知・意思決定要因を含む状況（未知条件）では、キネマティクス・キネティクスが変化すると報告されている。Cortes et al. (2011a) は、未知条件は既知条件と比較して、膝関節屈曲角度が増大することや伸展モーメントが低下することを報告している。Dempsey et al. (2009) も同様に、未知条件は既知条件と比較して、膝関節屈曲角度が大きくなることに加え、方向転換走速度が低下することを報告している。つまり、認知・意思決定要素を含むことにより既知条件と比較して動作の違いが生じ、ACL 損傷が引き起こされるリスクが高まるだけでなく、パフォーマンスの低下が引き起こされると考えられる。また、これらの結果から、未知条件でも既知条件と同様の動作をすることが可能となれば、素早く方向転換ができると考えられる。

方向転換角度によって技術的要因や下肢のキネマティクス・キネティクスが変容すると考えられることから、方向転換能力の技術的要因を明らかにするためには、対象とする方向転換角度の動作に特化し、分析をすることが重要であると考えられる。現在までになされてきた方向転換の多くの研究では、斜め前方への方向転換(McLean et al., 2005; Green et al., 2011a)や180°の方向転換(Sasaki et al., 2011; Nagano et al., 2011)における動作が評価されてきた。その中でも、斜め前方への方向転換は、オフENSEの動作を想定している。一方で、サッカーの1対1の攻防では、ディフェンスの選手はオフENSEの選手に対して身体斜めに向けた半身姿勢で対峙し、オフENSEの選手の動きに反応して斜め後方へ方向転換をする。しかし、筆者が知る限り、斜め後方への方向転換に特化した研究はなされていない。また、1対1の攻防におけるディフェンスの選手の後方への方向転換能力は、日本サッカー協会が提唱するフィジカル面での課題の1つとして取り上げられている(JFA, 2004)。そのため、後方への方向転換の素早さの技術的要因の究明は、サッカーの競技パフォーマンス向上のために検討すべき重要な課題である。

1.2 研究の目的

本研究は、サッカーの1対1におけるディフェンスを想定した斜め後方への方向転換動作の、パフォーマンスの技術的要因をキネマティクス・キネティクスの観点から検討し、速度生成のメカニズムを明らかにすることとした。そのために、本研究では①既知条件と未知条件の動作の比較を行い、条件間で生じるキネマティクス・キネティクスの差から速度生成のメカニズムを検討した。さらに、②未知条件におけるパフォーマンスレベルによる動作の違いの検討を行い、①で明らかとなった結果が、パフォーマンスの優劣によっても同様の見解が得られるかを検討した。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は以下に記す通りである。第2章では、本研究の方法について記した。第3章では、半身姿勢側への方向転換について記した。第4章では、非半身姿勢側への方向転換について記した。そして、第5章では、第3・4章から得られた知見を総合的に検討し、本研究の目的である、サッカーの1対1におけるディフェンスを想定した斜め後方への方向転換動作の速度生成のメカニズムについて記した。第6章では、結論を記した。

第2章 方法

2.1 被験者

被験者は関西学生サッカーリーグ1部の男子大学サッカー選手20名（年齢: 19.7 ± 1.3 歳; 身長: 172.6 ± 5.5 cm; 体重: 69.5 ± 5.9 kg; 平均 \pm 標準偏差）を対象とした。被験者のポジションはフォワード3名、ミッドフィルダー8名、ディフェンダー9名であった。利き脚は、被験者がより遠くにボールを蹴ることが出来る側と定義した。本研究は、事前に承認を得た立命館大学生命倫理委員会の「ヒトを対象とする研究倫理」の規定【BKC-IRB-2011-019】に基づき、各被験者には実験を行う前に、研究の目的・実験の内容、安全性の説明を行い、全ての被験者から実験参加の同意を得た。

2.2 実験方法

被験者は、顔のみを移動方向の反対側へ正対させ、利き脚側へ身体を斜めに向けた半身姿勢でのサイドステップで直線的に2m後方へ助走をとり、反転動作を伴いながら半身姿勢側もしくは非半身姿勢側135°斜め後方への方向転換後、3mのスプリントを既知条件と未知条件で行った。既知条件では、試行を行う前に指示した移動方向へ方向転換を行った。未知条件では、助走動作中に光刺激装置が示す移動方向に従い、方向転換を行った。なお、スタート位置からゴール位置までの走路には、被験者に見えるように赤色のカラーテープで走路を示した。被験者は、十分なウォーミングアップを行った後に、本番と同様の設定で既知条件・未知条件ともに動作に慣れるまで練習を行った。その後、被験者は既知条件での試技を左3試行・右3試行の計6試行を行った。また、未知条件での試技を左5試行・右5試行の計10試行を行った。以上の計16試行は全てランダムに行った。なお、被験者が試行の途中で止まった場合や、フォースプレート上で方向転換を行えなかった場合は失敗試行とし、成功試行を得ることが出来るまで繰り返しランダムに行った。

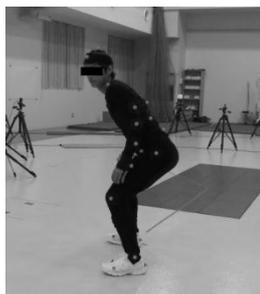


図 2.1 半身姿勢（右利き）



図 2.2 実験風景

本研究の未知条件では、対人相手や競技の特異的な映像を用いずに、光刺激装置を用いた選択反応状況下で実施した。認知・意思決定要因に関する研究では、準プロサッカー選手はレベルの低い選手と比較して、わずかな情報から素早く正確に反応できることが報告されている(Helsen and Starkes, 1999)。また、パフォーマンスレベルが高い選手は、対人相手の動きを経験により蓄積された知識に基づいて予測し、正確に判断をする(Ward and Williams, 2003)。つまり、パフォーマンスレベルが高い選手は、状況認識・動作パターン認識・予測の能力の高さのアドバンテージを活かすことで動作の開始を早めることができ、予め移動方向が指示された既知条件とおおよそ同様なパフォーマンスを発揮することができると考えられる。そこで、既知条件と未知条件の動作の差異を生じさせるためには、状況認識・動作パターン認識・予測の能力のアドバンテージを制限し、単純に刺激に対する反応を伴い、方向転換をする状況下で実験を行う必要があると考えた。そのため、本研究では、光刺激装置を用いた選択反応状況下で実験（未知条件）を実施した。

2.3 実験設定

全身の解剖学的特徴点に 44 点の反射マーカを貼付し、それぞれの 3 次元座標値を 16 台のカメラ(200Hz)を用い 3 次元モーションキャプチャシステム(Raptor-E Digital RealTime System, Motion Analysis Corporation, Santa Rosa, CA, USA)で計測した。計測から得られた解剖学的特徴点の 3 次元座標値は、2 次のバターワース型ローパスフィルターを用いてカットオフ周波数 7 Hz で平滑化した。床反力、フリーモーメントおよび方向転換足の接地時間は、15 台のフォースプレート(TF-4060-B, Tec Gihan Corporation, Kyoto, Japan)を用いてサンプリングレート 1000 Hz で計測し、モーションキャプチャシ

システムと同期させた。走行タイム・助走速度を計測するために、光電センサ(E3G-R13, Omron, Kyoto, Japan)をスタート位置・1m 後方・2m 後方・左右ゴール位置の計 5 ヲ所に設置し、モーションキャプチャシステムと同期させた。光刺激装置(自作)は、スタート位置から 1m 後方に設置した光電センサ(E3S-3D/L, Omron, Kyoto, Japan)のゲートを通過した時点で点灯するように設定した。グローバル座標系の X 軸・Y 軸・Z 軸はそれぞれ助走走路に対して前後・左右・鉛直方向とした。

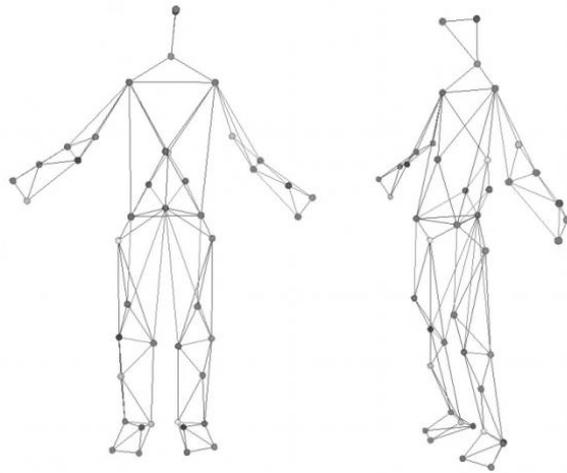


図 2.3 マーカーセット

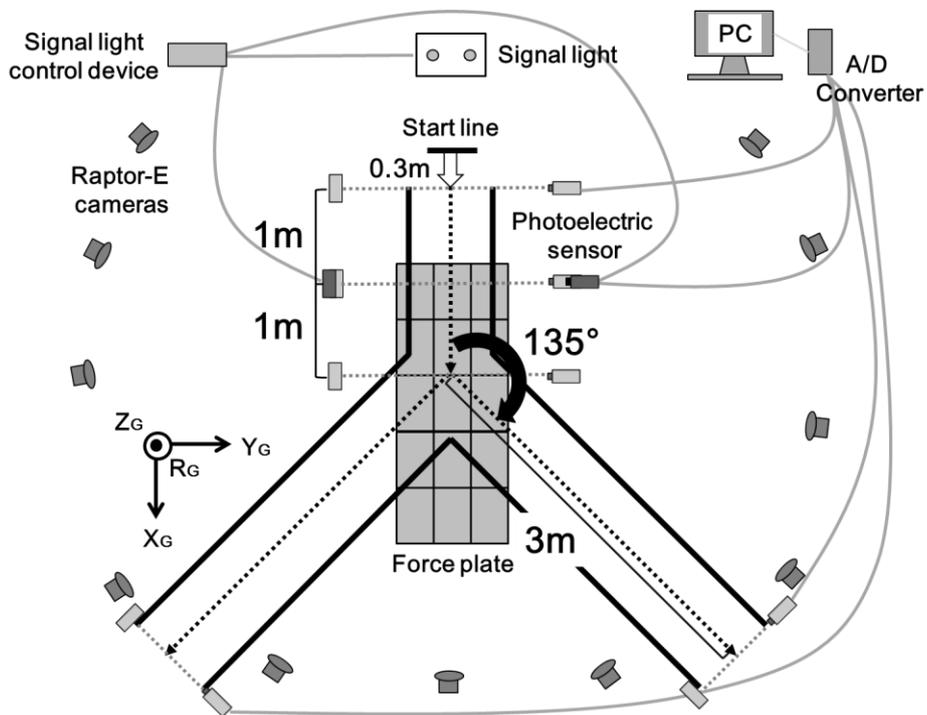


図 2.4 実験設定

2.4 解析項目

静的立位姿勢から得られた解剖学的特徴点の3次元座標値から、3次元動作解析ソフト(Visual 3D, C-Motion, Rockville MD, United States)を用いて、頭部・胴部・左右上腕部・左右前腕部・骨盤部・左右大腿部・左右下腿部・左右足部の13セグメントからなる骨格モデルを作成した。骨格モデルは矢状面・前額面・水平面における体幹部捻転角度、股関節・膝関節・足関節のそれぞれの関節角度や逆動力学解析を用いた関節モーメント・関節パワー・関節仕事量を算出するために用いた(Winter, 2009)。なお、骨盤は左右上前腸骨棘と仙骨に貼付した解剖学的特徴点から定義し、股関節中心点を推定した(Davis et al. 1991)。身体重心位置は、Dempster et al. (1955)が報告したセグメントパラメーターに基づいて算出した。ローカル座標系は各セグメントに設定した。ローカル座標系は全て単位ベクトルの外積を用いて定義された直交左手型の座標系を用いて、各セグメントの解剖学的特徴点から定義された。ローカル座標系のX軸・Y軸・Z軸はそれぞれ静的立位姿勢における前後・左右・鉛直方向とした。体幹部捻転角度と関節角度は、カルダン角の回転順序で算出した(Grood and Suntay, 1983)。関節モーメントは、キネマティクスデータと床反力データから逆動力学解析を用いて算出した。関節パワーは、関節モーメントと関節角速度の内積により算出した。関節仕事量は、関節パワーの時間積分により算出し、方向転換足の接地期間中における正・負の関節パワーの総和とした。方向転換足の接地期間中における身体の向きの変化を示すために、上胸部・骨盤部・足部をそれぞれ、両肩峰・両上前腸骨棘・第1中足骨頭と第5中足骨頭を結ぶ線から定義し、新たな移動方向(135°)に対するそれぞれの部位の回転角度を算出した。なお、身体の向きを算出する場合のみ3次元動作解析ソフトを用いずに、以下で示す(式1)を用いて3次元座標値から水平面(X-Y面)上に2次元に投影し算出した。

$$\theta = \left\{ \text{Acos} \left(\frac{Ry-Ly}{\sqrt{(Rx-Lx)^2 + (Ry-Ly)^2}} \right) \right\} \times \frac{180}{\pi} \quad (\text{式 1})$$

R =右肩峰・右上前腸骨棘・第1中足骨頭(左足接地)・第5中足骨頭(右足接地)

L =左肩峰・左上前腸骨棘・第1中足骨頭(右足接地)・第5中足骨頭(左足接地)

未知条件における反応時間は、スタート位置から 1m 後方に設置した光電センサのゲートを通り過ぎた時点から方向転換足が接地した瞬間までの時間とした。解析では、方向転換足接地時における動作局面のみを分析対象とした。下肢におけるキネマティクスとキネティクスデータは、方向転換足から算出した。なお、床反力が 5 N 以上になった時点を接地時点とし、5 N 以下となった時点を離地時点とした。フリーモーメントは、足部の回内によって生じるモーメントを正の値とし、足部の回外によって生じるモーメントを負の値をとした。また、フリーモーメントの最高値は、最低値以降に出現した値を採用した。

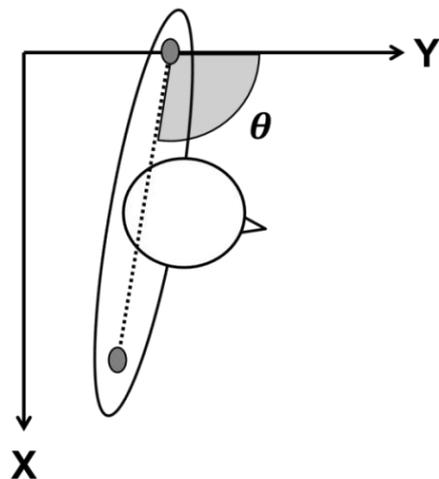


図 2.5 上胸部の回転角度の定義

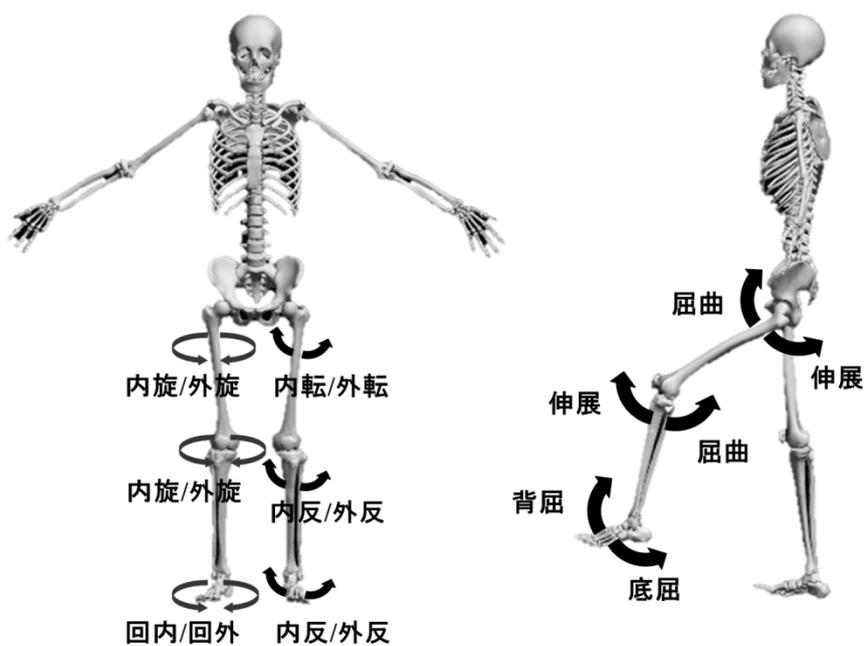


図 2.6 下肢関節角度の定義

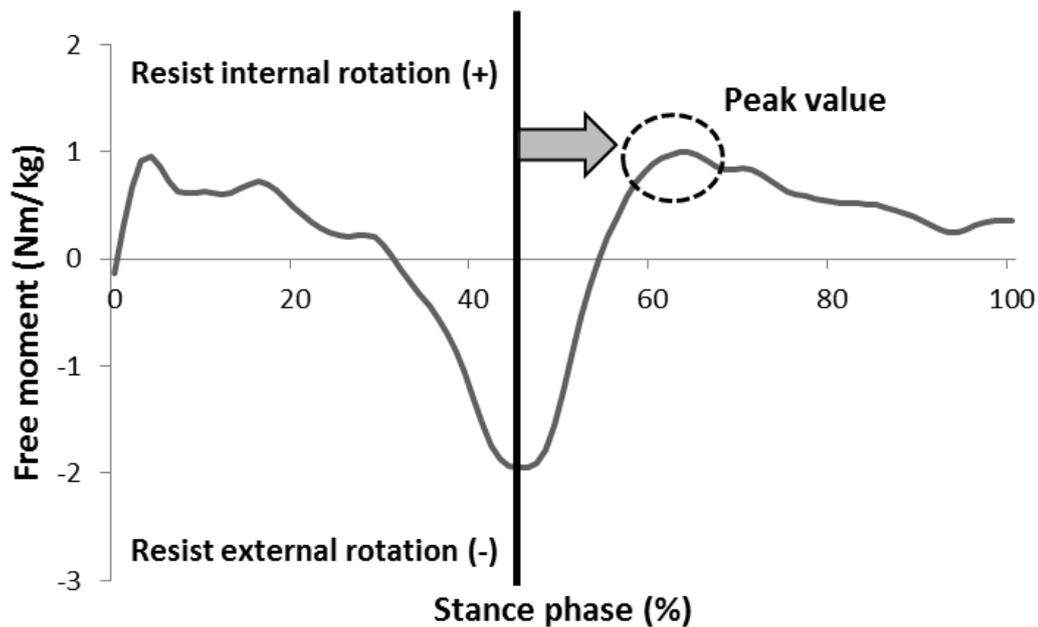


図 2.7 フリーモーメントの最高値の定義

2.5 統計処理

既知条件と未知条件の平均値の差の検定は、対応のある t 検定を用いた。従属変数は、走行タイム、助走スピード、身体重心のスピード変化量、方向転換足の接地時間、上脛部・骨盤部・足部の回旋角度、股関節・膝関節・足関節における関節角度、関節モーメント、関節パワーとした。また、既知条件と未知条件の 2 つの条件の矢状面、前額面、水平面における関節仕事量の比較は、繰り返しのある二元配置分散分析を行い、下位検定として Bonferroni の方法による多重比較検定を行った。さらに、ピアソンの積率相関係数を用いて、身体重心スピード変化量と関節仕事量、身体重心スピード変化量と体幹部捻転角度、重心スピード変化量と方向転換足が接地した瞬間の上脛部・骨盤部・足部の回旋角度、関節仕事量と方向転換足が接地した瞬間の上脛部・骨盤部・足部の向き、股関節内転トルクとフリーモーメント、股関節内転トルクと足関節底屈/背屈パワーの相関を検定した。関節モーメント・関節パワー・関節仕事量およびフリーモーメントは全て体重で正規化した。既知条件の 3 試行と未知条件の 5 試行はそれぞれ平均化した。既知条件と未知条件の比較をする際は、各被験者の平均値データをさらに条件ごとに平均化し代表値として扱った。統計解析は、SigmaPlot 12(Systat Software Inc., San Jose, California, United States)を用いて分析した。なお、各検定における有意水準は 5%未満とし、10%未満を有意傾向とした。

第3章 半身姿勢側への方向転換

サッカー競技におけるディフェンスの局面では、対峙する相手選手が繰り出すパスコースやドリブルによる進入のコースを限定するなどの戦術的理由から、ディフェンスの選手はオフENSEの選手に対し身体を斜めに向けた半身姿勢で対峙する。それに対し、オフENSEの選手はディフェンスの選手の背後の方向（非半身姿勢側）への進入を試みたり、あえてディフェンスの選手の半身姿勢側への進入を試みたりと、ディフェンスの選手をかわすために駆け引きをする。そのため、ディフェンスの選手は半身姿勢側・非半身姿勢側を問わずに、オフENSEの選手の動きに反応し、素早く後方へ方向転換をする能力が要求される。本章では、対峙するオフENSEの選手に半身姿勢側へ進入された場面を想定し、そのディフェンス局面で見られる半身姿勢側への方向転換の速度生成のメカニズムを検討した。なお、被験者は男子大学サッカー選手18名（年齢：19.7±1.3歳；身長：173.2±5.5cm；体重：70.2±5.8kg；平均±標準偏差）を対象とした。

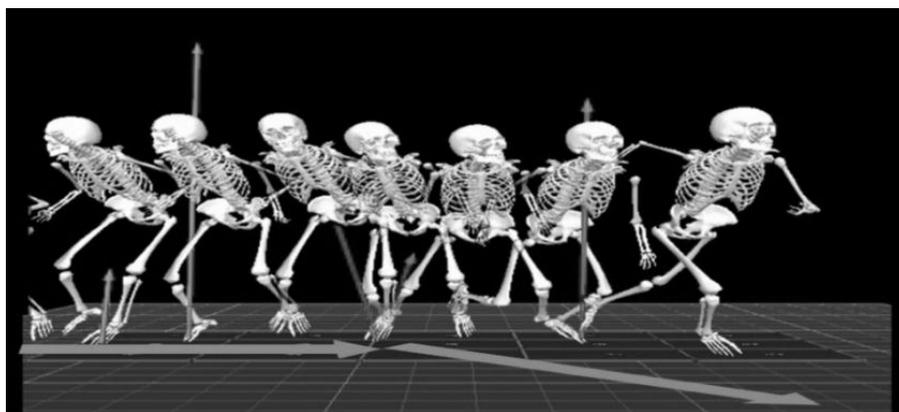


図 3.1 半身姿勢側への方向転換動作

3.1 既知条件と未知条件の動作の比較

半身姿勢側への方向転換における、被験者にとって最適動作と考えられる予め移動方向を指示した「既知条件」と、オフENSEの選手の動きに反応するといった実際の競技場面を想定し、方向転換を行う直前に移動方向を指示する「未知条件」の2条件を実施した。そして、被験者にとっての最適動作と比較して、認知・意思決定を伴うことによって生じるキネマティクス・キネティクスの違いから、後方への方向転換の速度生成のメカニズムを検討した。

3.1.1 結果

被験者の助走速度(平均±標準偏差)は、既知条件が 2.44±0.42 m/s、未知条件が 2.29±0.19 m/s であった。助走速度には条件間で有意な差は認められなかった ($p=0.13$)。方向転換足の接地期間中における身体重心スピード変化量は、未知条件は既知条件よりも有意に低値であった(表 3.1)。方向転換足の接地時間は、未知条件は既知条件よりも有意に長かった(表 3.1)。方向転換足の接地期間中における身体重心スピード変化率は、未知条件と既知条件との間に有意に小さかった(表 3.1)。また、未知条件の反応時間は、0.32±0.07 秒であった。

表 3.1 身体重心スピード変化量・接地時間・身体重心スピード変化率

COM speed variation (m/s)		Contact time (sec)		Rate of COM speed change (m/s ²)	
Anticipated	Unanticipated	Anticipated	Unanticipated	Anticipated	Unanticipated
0.80 ± 0.11	0.68 ± 0.13 *	0.17 ± 0.02	0.19 ± 0.03 *	4.72 ± 0.75	3.61 ± 1.01 *

* significant difference between the anticipated and unanticipated ($p < 0.01$).

方向転換足が接地した瞬間の上胴部・骨盤部・足部のそれぞれ回旋角度は、既知条件と比較して、未知条件は有意に小さかった。同様に、方向転換足が離地する瞬間においても、既知条件と比較して、未知条件は有意に小さかった(表 3.2, 図 3.2 - 3.4)。

表 3.2 セグメントの回旋角度

	Anticipated		Unanticipated	
	Foot contact	Foot off	Foot contact	Foot off
Upper trunk	85.1 ± 14.6	113.8 ± 13.7	74.0 ± 12.8 *	99.0 ± 16.6 *
Pelvis	91.7 ± 11.4	109.1 ± 8.3	77.5 ± 12.0 *	97.0 ± 9.8 *
Foot	60.4 ± 13.9	83.9 ± 18.1	49.5 ± 11.7 *	65.0 ± 20.5 *

* significant difference between the anticipated and unanticipated ($p < 0.01$).

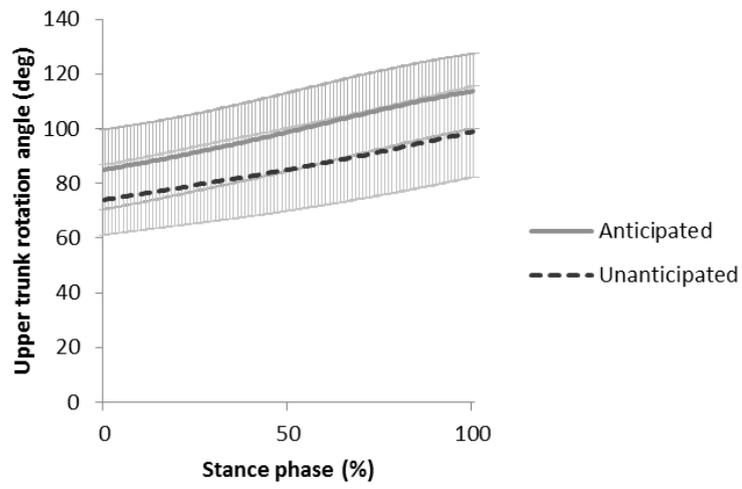


图 3.2 上胴部回旋角度

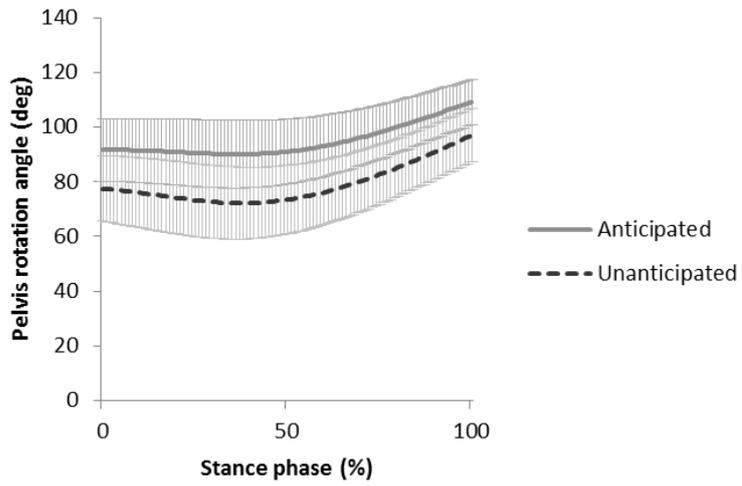


图 3.3 骨盤部回旋角度

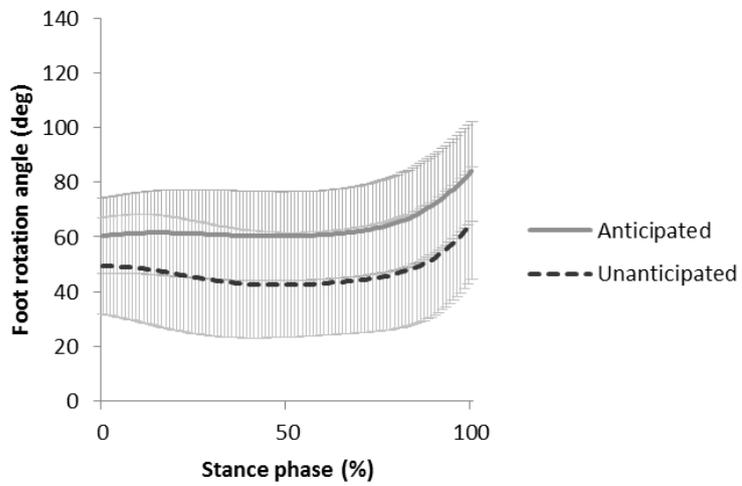


图 3.4 足部回旋角度

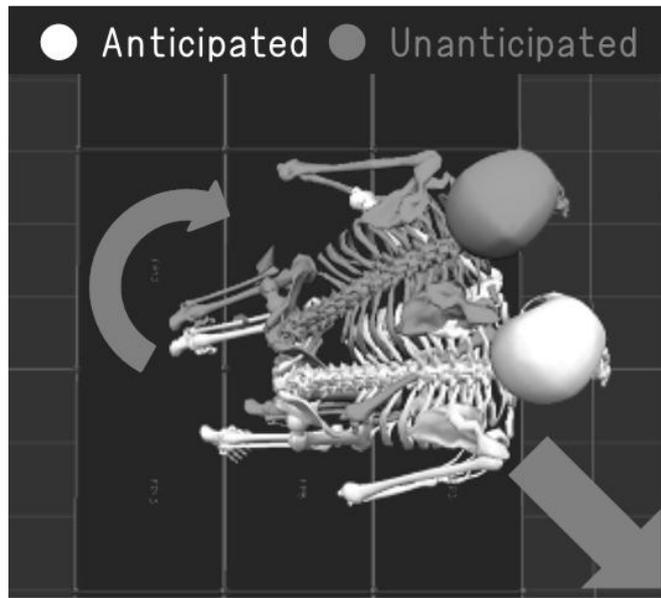


図 3.5 方向転換足が接地した瞬間における身体の向き（既知条件と未知条件の比較例）

矢状面における股関節角度は、両条件に共通して屈曲位から伸展し続けた。なお、条件間の股関節伸展/屈曲の関節角度変位に有意な差は認められなかった(図 3.6)。前額面における股関節角度は、両条件に共通して方向転換足の接地期後半まで股関節は外転変位をし続けたが、その後、離地までにかけて内転変位をした。なお、方向転換足の接地した瞬間における股関節外転角度は、未知条件は既知条件と比較して有意に大きかった ($p < 0.01$, 図 3.7)。水平面における股関節角度は、両条件に共通して方向転換足の接地期後半まで外転変位をしていくが、その後、離地までにかけて内旋変位をした。なお、方向転換足の接地した瞬間における股関節外旋角度は、未知条件は既知条件と比較して有意に小さかった ($p < 0.01$, 図 3.8)。

矢状面における膝関節角度は、両条件に共通して屈曲位から伸展し続けた。なお、条件間の膝関節伸展/屈曲の関節角度変位に有意な差は認められなかった(図 3.9)。前額面における膝関節角度は、両条件に共通して内反位から外反変位をした。なお、方向転換足の接地した瞬間における膝関節内反角度は、未知条件は既知条件と比較して有意に小さかった ($p < 0.01$, 図 3.10)。水平面における膝関節角度は、両条件に共通して内旋位から外旋変位をした。なお、条件間の膝関節外旋/内旋の関節角度変位に有意な差は認められなかった(図 3.11)。

矢状面における足関節角度は、両条件に共通して方向転換足の接地期前半では背屈位からさらに背屈変位をした。そして、方向転換足の接地期半ばから底屈変位した。なお、条件間の足関節底屈/背屈の関節角度変位に有意な差は認められなかった(図 3.12)。前額面における足関節角度は、両条件に共通して内反位から方向転換足の接地期後期までにかけてさらに内反変位をし、その後、外反をした。なお、条件間の足関節外反/内反の関節角度変位に有意な差は認められなかった(図 3.13)。水平面における足関節角度は、両条件に共通して方向転換足の接地期初期では、回内位であったが、その後は回外位へと変位した。なお、足関節の最大回外角度において、未知条件は既知条件と比較して有意に大きかった ($p < 0.05$, 図 3.14)。

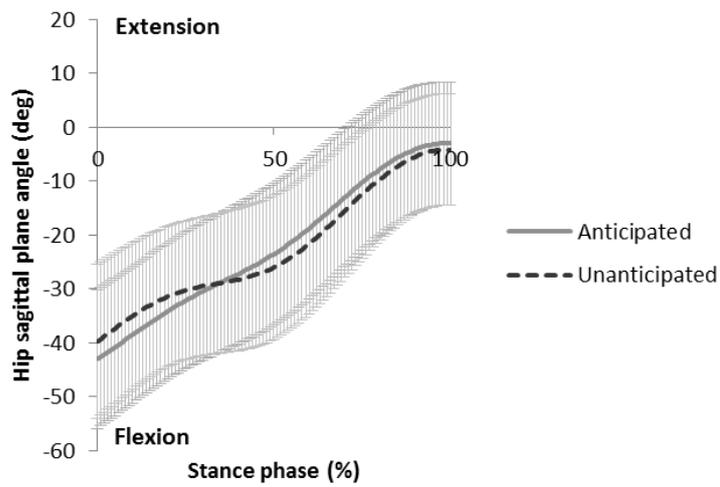


図 3.6 股関節伸展/屈曲角度

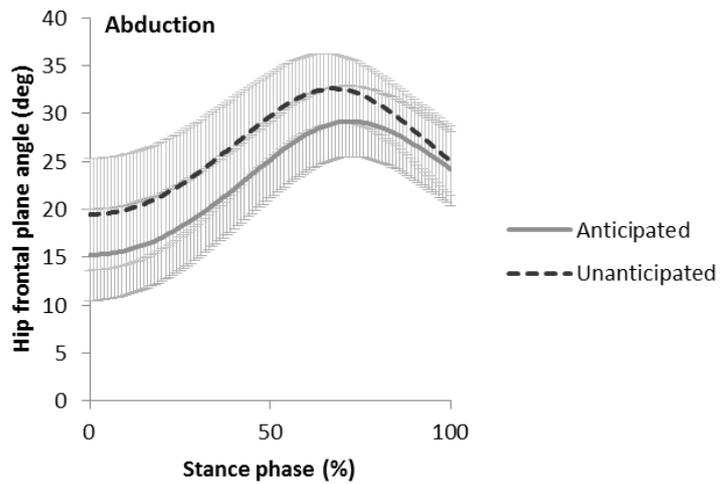


図 3.7 股関節外転/内転角度

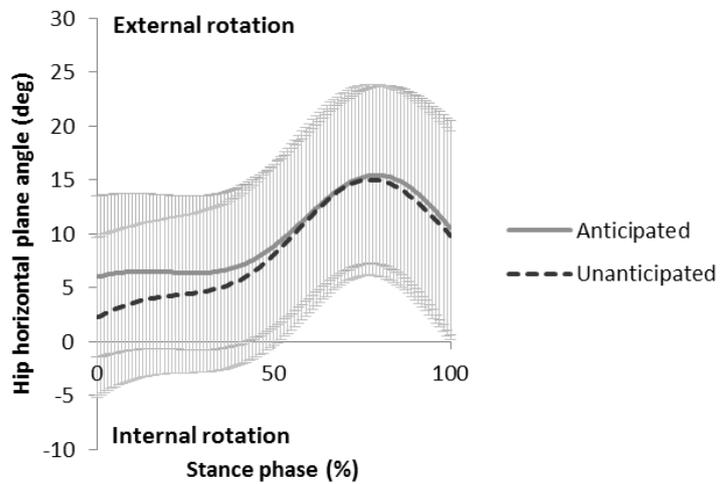


図 3.8 股関節外旋/内旋角度

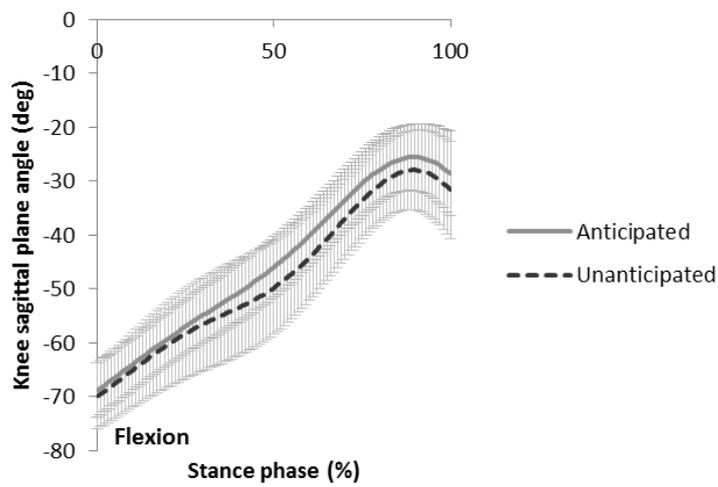


図 3.9 膝関節伸展/屈曲角度

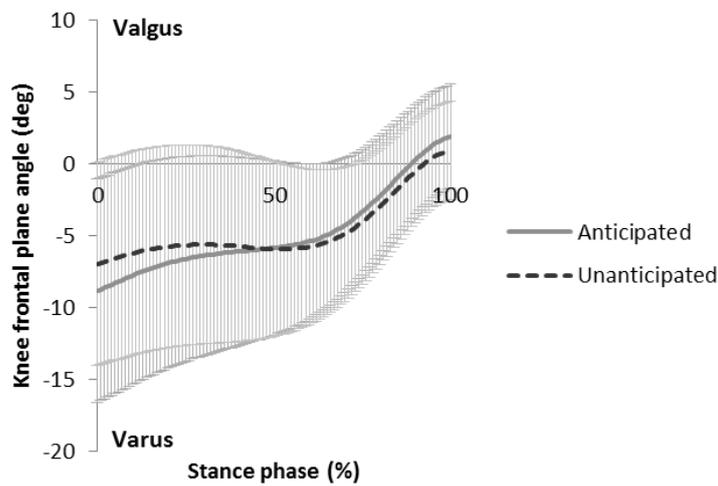


図 3.10 膝関節外反/内反角度

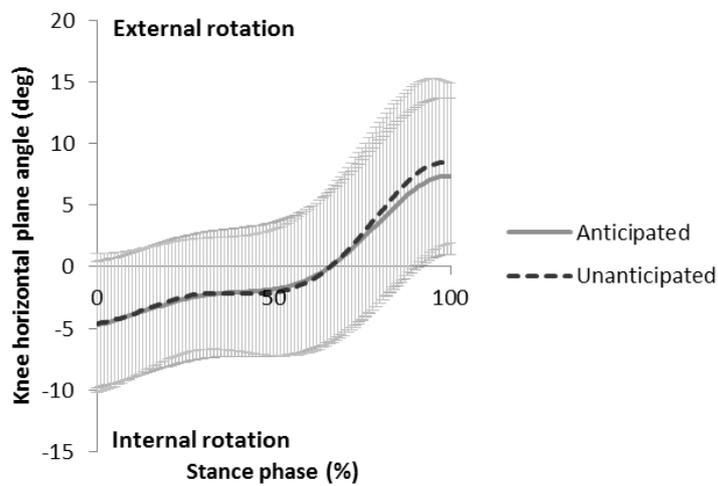


図 3.11 膝関節外旋/内旋角度

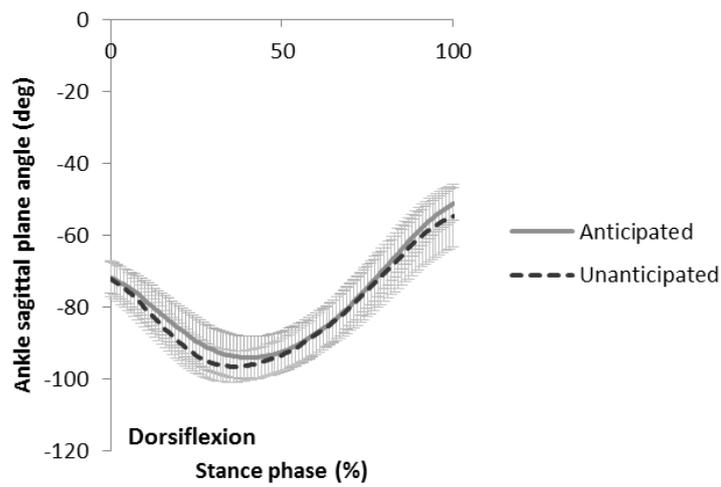


图 3.12 足關節底屈/背屈角度

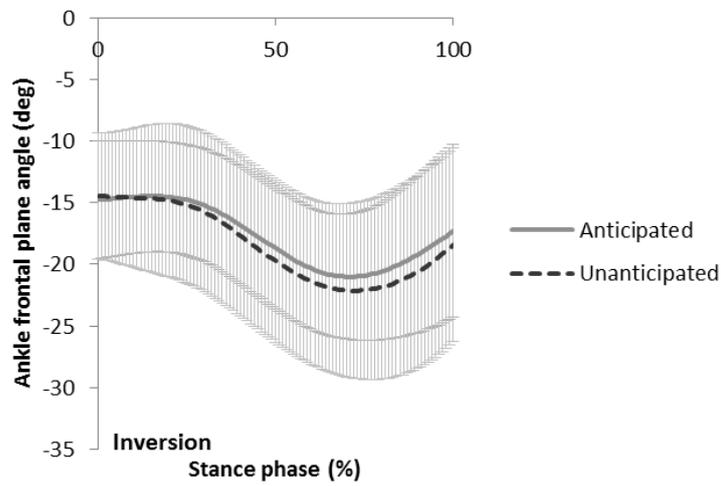


图 3.13 足關節外反/内反角度

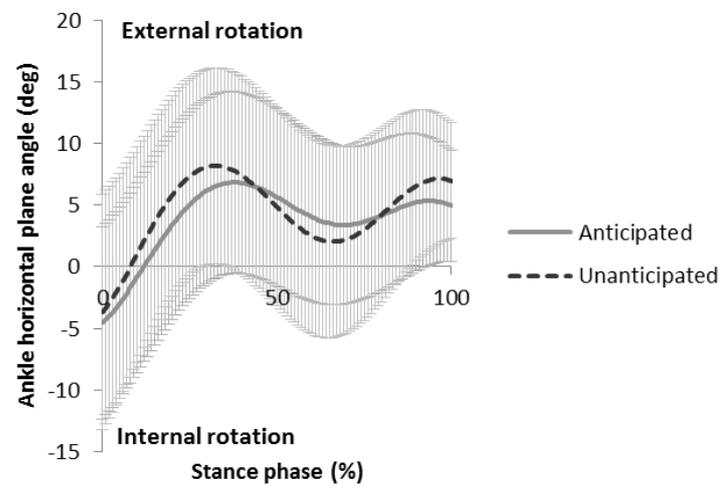


图 3.14 足關節回外/回内角度

矢状面における股関節モーメントは、両条件に共通して方向転換足の接地期初期には屈曲モーメントがなされていたが、その後、方向転換足の接地期後半まで伸展モーメントがなされていた。なお、股関節モーメントの最高値は、未知条件は既知条件と比較して有意に低値であった ($p < 0.01$, 図 3.15)。前額面における股関節モーメントは、両条件に共通して方向転換足の接地期初期には外転モーメントがなされていたが、その後、内転モーメントがなされていた。なお、股関節内転モーメントの最高値は、未知条件は既知条件と比較して有意に低値であった ($p < 0.01$, 図 3.16)。水平面における股関節モーメントは、両条件に共通して、方向転換足の前半は外旋モーメントがなされていたが、その後、内旋モーメントがなされていた。なお、股関節の内旋モーメントの最高値は、未知条件は既知条件と比較して有意に低値であった ($p < 0.05$, 図 3.17)。

矢状面における膝関節モーメントは、両条件に共通して二峰性を描き、伸展モーメントがなされていた。なお、条件間の膝関節伸展モーメントの最高値に有意な差は認められなかった (図 3.18)。前額面における膝関節モーメントは、両条件に共通して方向転換足の接地期後半に内反モーメントが高まった。なお、条件間の膝関節外反/内反モーメントに有意な差は認められなかった (図 3.19)。水平面における膝関節モーメントは、両条件に共通して方向転換足の接地期前半に外旋モーメントと内旋モーメントが振幅してなされていた。なお、方向転換足の接地期前半 (50%まで) における膝関節外旋モーメントの最高値は、未知条件は既知条件と比較して有意に低値であった ($p < 0.01$)。また、膝関節内旋モーメントの最高値は、未知条件は既知条件と比較して有意に高値であった ($p < 0.01$, 図 3.20)。

矢状面における足関節モーメントは、両条件に共通して方向転換足の接地期全域において、底屈モーメントがなされていた。なお、条件間の足関節底屈モーメントに有意な差は認められなかった (図 3.21)。前額面における足関節モーメントは、方向転換足の接地期半ばまでは内反モーメントがなされていたが、その後、離地までにかけて外反モーメントがなされていた。なお、足関節内反モーメントの最高値は、未知条件は既知条件と比較して有意に高値であった ($p < 0.01$)。しかし、条件間における足関節外反モーメントの最高値に有意な差は認められなかった (図 3.22)。水平面における足関節モーメントは、両条件に共通して方向転換足の接地期前半では回内モーメントがなされていたが、接地期後半では回外モーメントがなされていた。なお、条件間の足関節回外/回内モーメントに有意な差は認められなかった (図 3.23)。

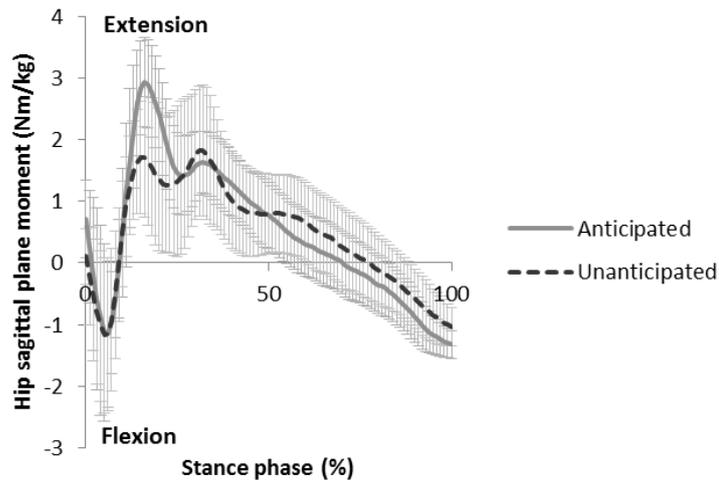


図 3.15 股関節伸展/屈曲モーメント

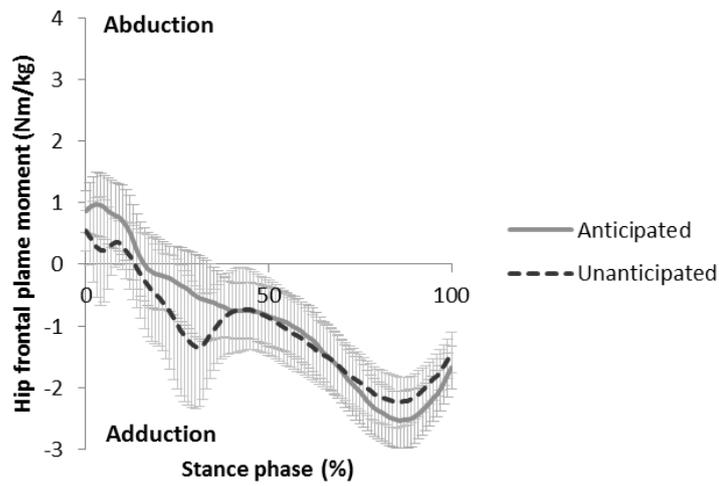


図 3.16 股関節外転/内転モーメント

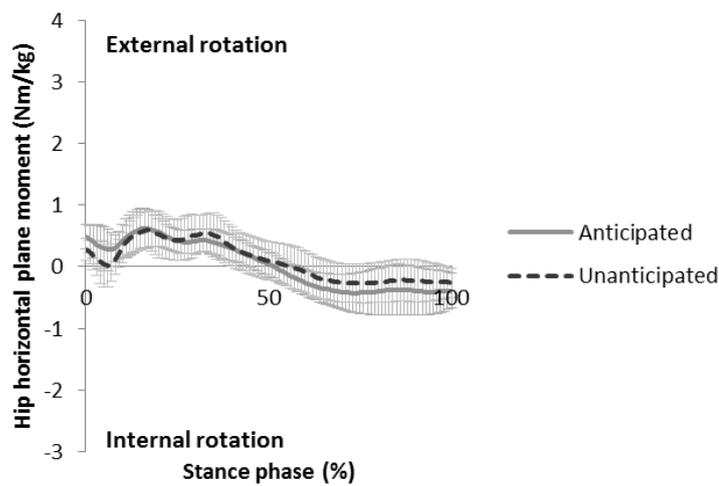


図 3.17 股関節外旋/内旋モーメント

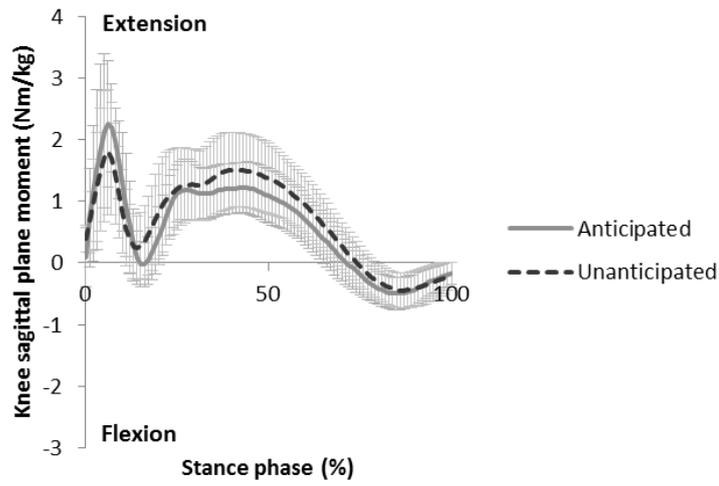


図 3.18 膝関節伸展/屈曲モーメント

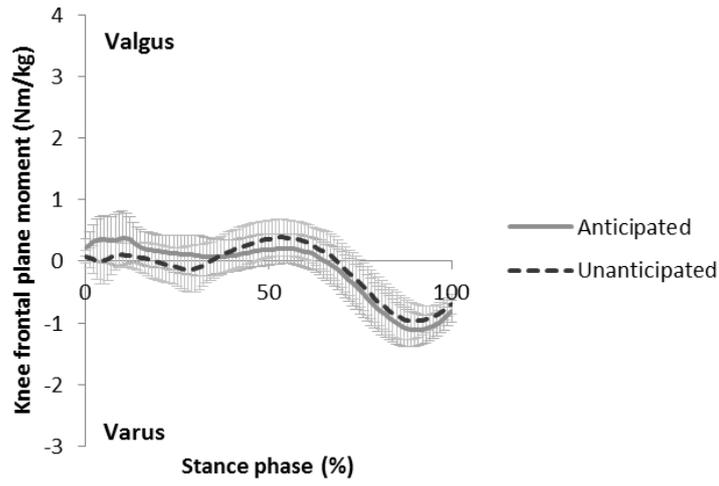


図 3.19 膝関節外反/内反モーメント

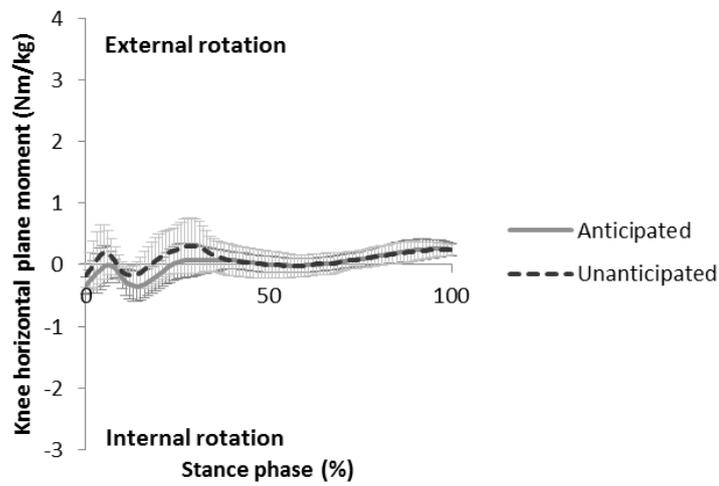


図 3.20 膝関節外旋/内旋モーメント

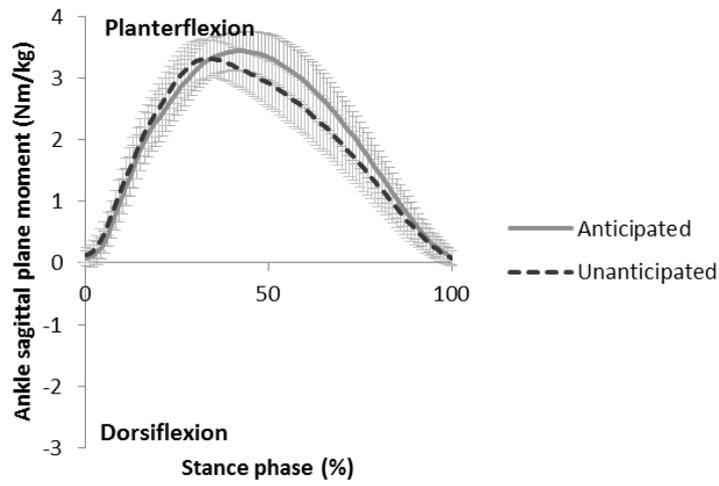


図 3.21 足関節底屈/背屈モーメント

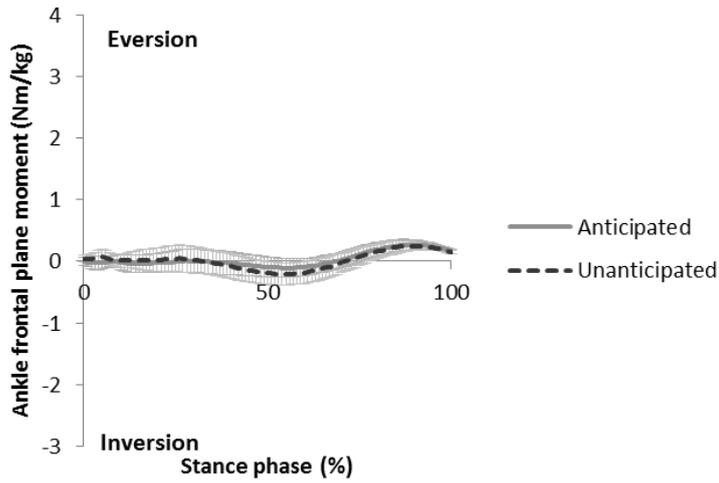


図 3.22 足関節外反/内反モーメント

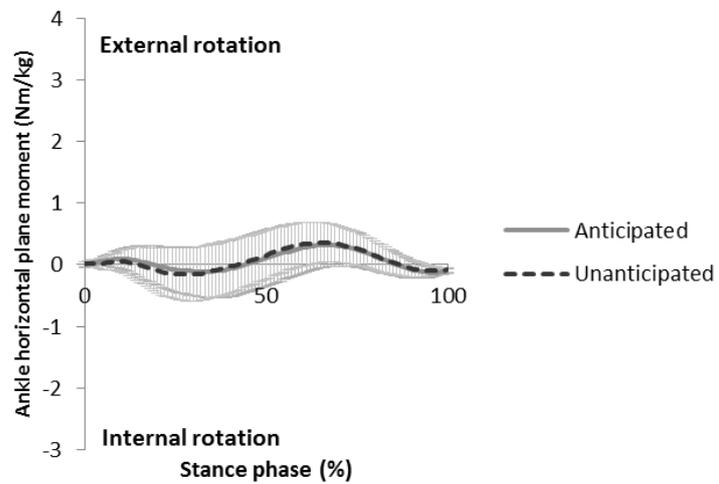


図 3.23 足関節回外/回内モーメント

股関節伸展/屈曲パワーは、両条件に共通して方向転換足の接地期前半において正のパワーが発揮されていた。なお、正の股関節伸展/屈曲パワーの最高値は、未知条件は既知条件と比較して有意に低値であった ($p < 0.01$, 図 3.24)。股関節外転/内転パワーは、両条件に共通して方向転換足の接地期後半から正のパワーが発揮されていた。なお、条件間の正の股関節外転/内転パワーの最高値に有意な差は認められなかった (図 3.25)。股関節外旋/内旋パワーは、両条件に共通してわずかなパワーしか発揮されていなかった (図 3.26)。

膝関節伸展/屈曲パワーは、両条件に共通して二峰性を描き、正のパワーが発揮されていた。なお、条件間の正の膝関節伸展/屈曲パワーの最高値に有意な差は認められなかった (図 3.27)。膝関節外反/内反パワーは、両条件に共通して方向転換足の接地期後半に負のパワーが発揮されていた。なお、負の膝関節外反/内反パワーは、未知条件は既知条件と比較して有意に低値であった ($p < 0.05$, 図 3.28)。膝関節外旋/内旋パワーは、両条件に共通してわずかなパワーしか発揮されていなかった (図 3.29)。

足関節底屈/背屈パワーは、両条件に共通して方向転換足の接地期後半に正のパワーが発揮されていた。なお、正の足関節底屈/背屈パワーの最高値は、知条件は既知条件と比較して有意に低値であった ($p < 0.01$, 図 3.30)。足関節外反/内反・回外/回内パワーは、両条件に共通してわずかなパワーしか発揮されていなかった (図 3.31, 3.32)。

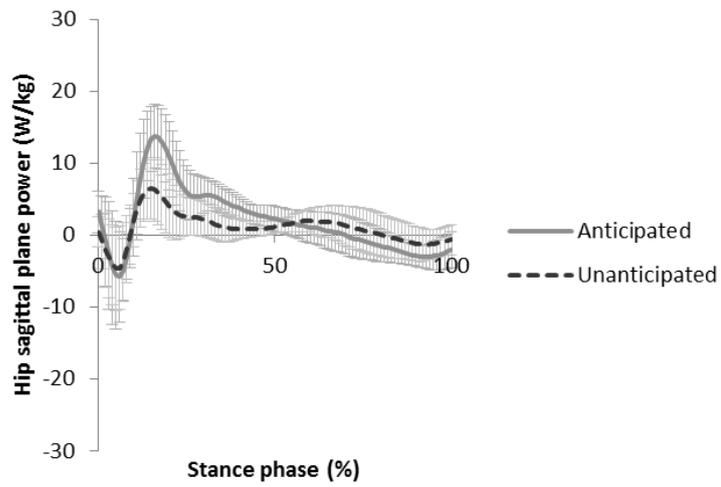


図 3.24 股関節伸展/屈曲パワー

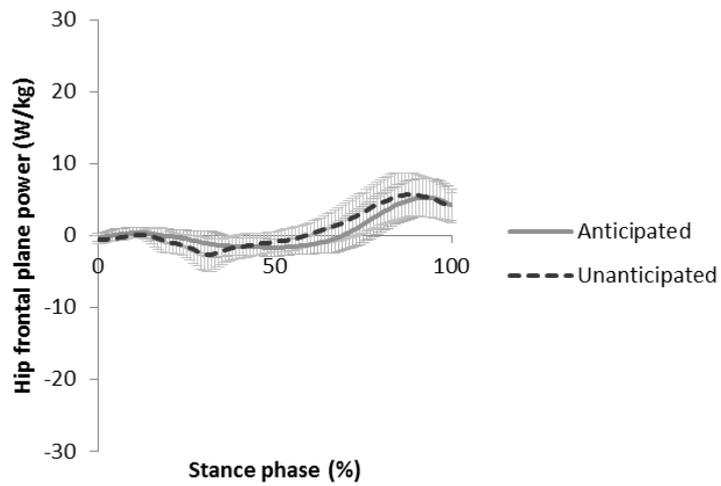


図 3.25 股関節外転/内転パワー

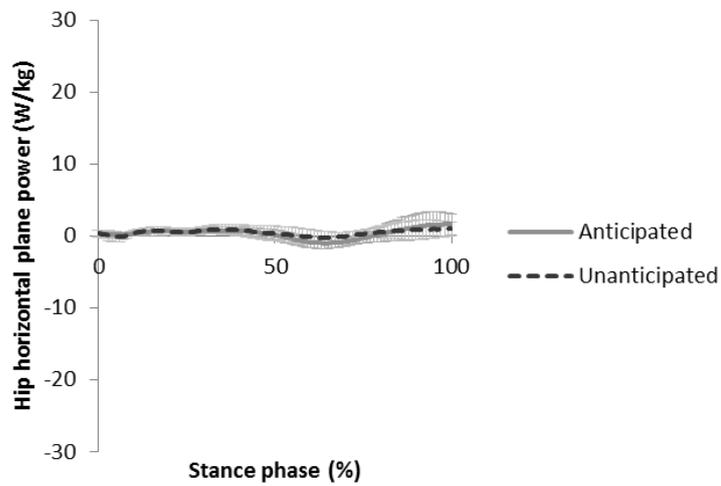


図 3.26 股関節外旋/内旋パワー

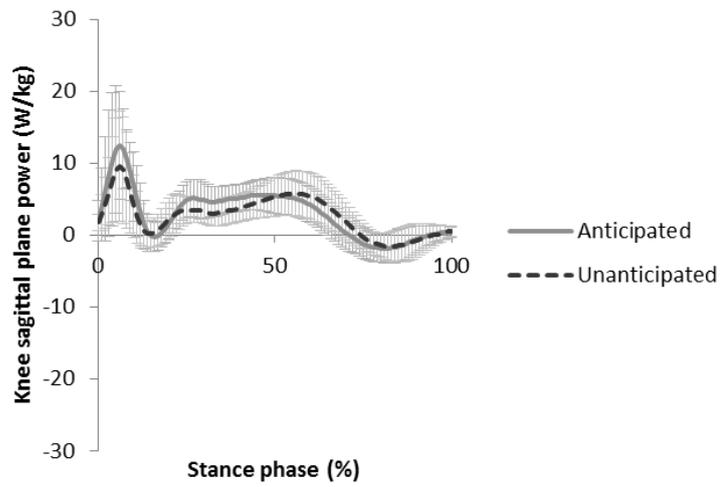


図 3.27 膝関節伸展/屈曲パワー

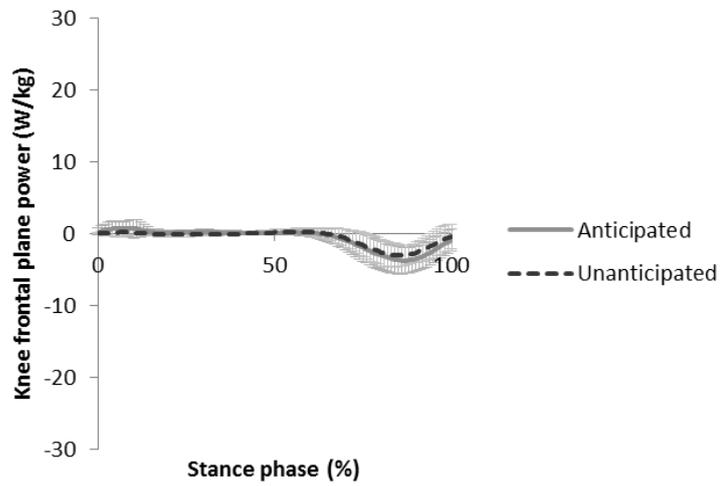


図 3.28 膝関節外反/内反パワー

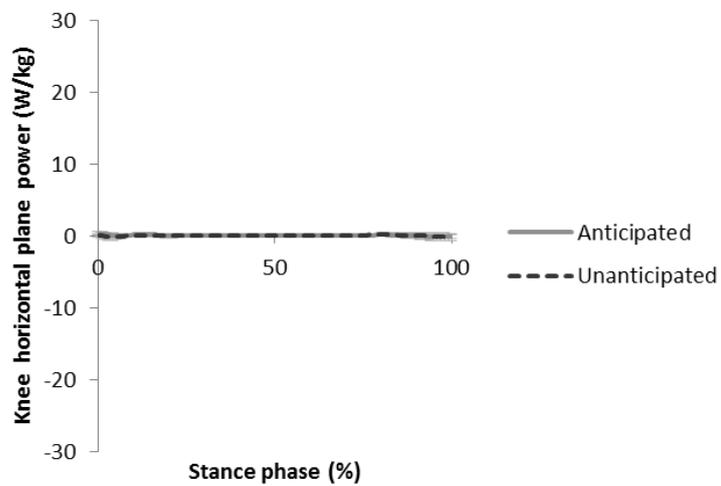


図 3.29 膝関節外旋/内旋パワー

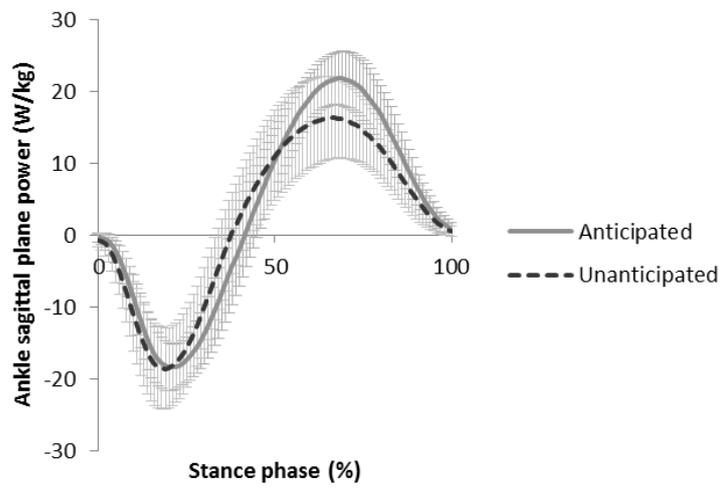


図 3.30 足関節底屈/背屈パワー

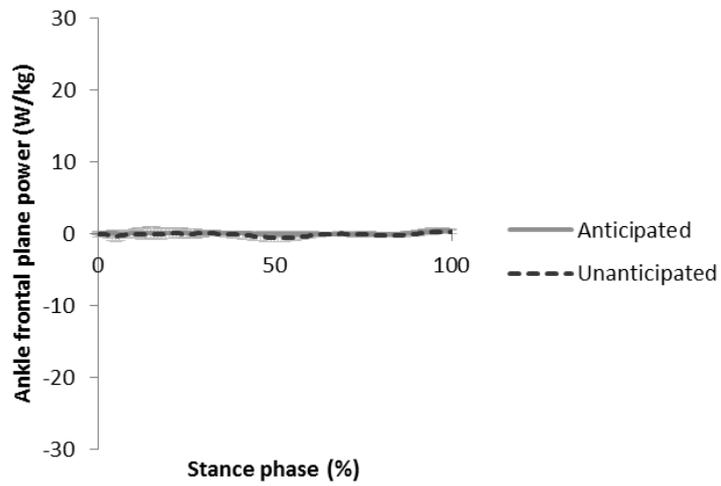


図 3.31 足関節外反/内反パワー

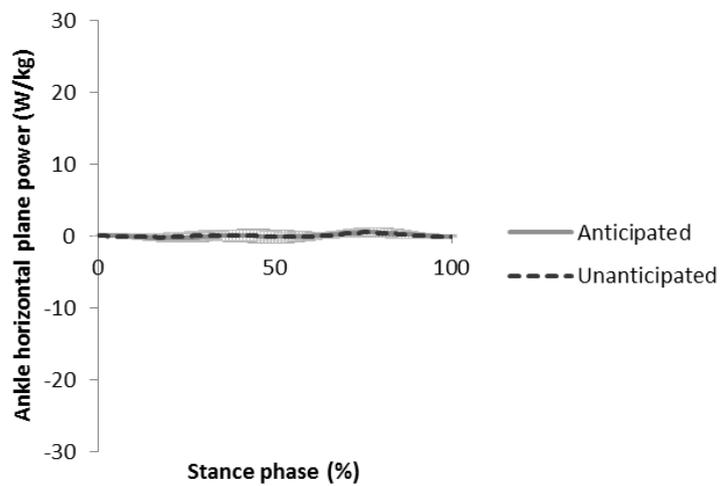


図 3.32 足関節回外/回内パワー

下肢三関節における関節仕事量は、両条件に共通して外転（外反）/内転（内反）・外旋（回外）/内旋（回内）における仕事はほとんどなされていなかった。一方で、伸展/屈曲における仕事は有意に高値を示し、下肢全体でなされた仕事の90%以上が伸展/屈曲における仕事であった。また、伸展/屈曲における仕事において、未知条件は既知条件と比較して有意に低値であった（図 3.33）。

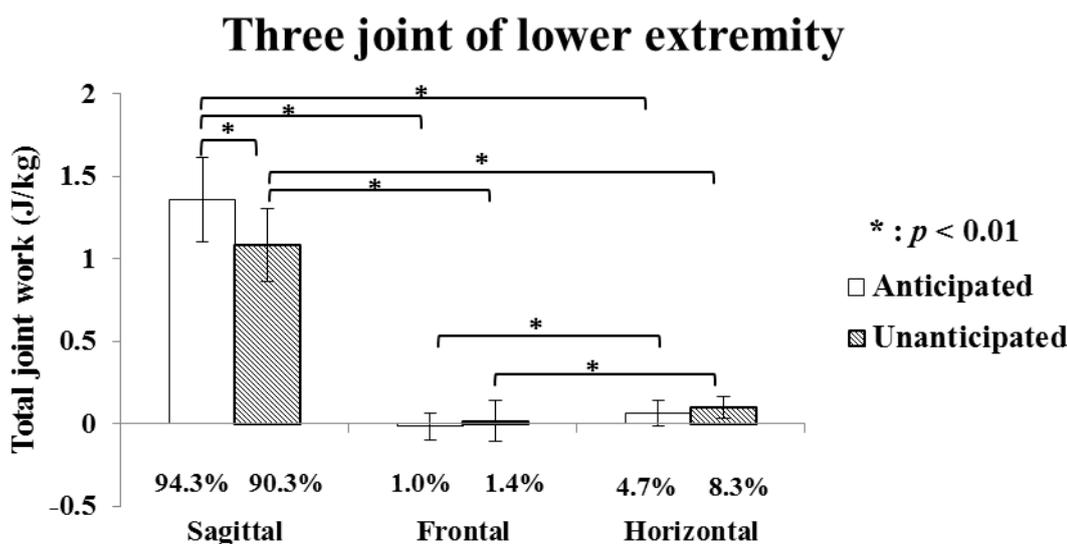


図 3.33 下肢三関節仕事量

股関節では、既知条件のみ外転/内転・外旋/内旋における仕事と比較して、伸展/屈曲における仕事は有意に高値であった。一方で、未知条件は、伸展/屈曲における仕事と外転/内転・外旋/内旋における仕事との間に有意な差は認められなかった。また、伸展/屈曲における仕事は、未知条件は既知条件と比較し、有意に低値であった（図 3.34）。

膝関節では、両条件に共通して外反/内反・外旋/内旋における仕事と比較し、伸展/屈曲における仕事は有意に高値であった。しかし、条件間の伸展/屈曲における仕事に有意な差は認められなかった（図 3.35）。

足関節では、両条件に共通して底屈/背屈における仕事が外反/内反・回外/回内における仕事と比較して有意に高値を示し、足関節全体でなされた仕事の90%以上が底屈/背屈における仕事であった。また、底屈/背屈における仕事は、未知条件は既知条件と比較し、有意に低値であった（図 3.36）。

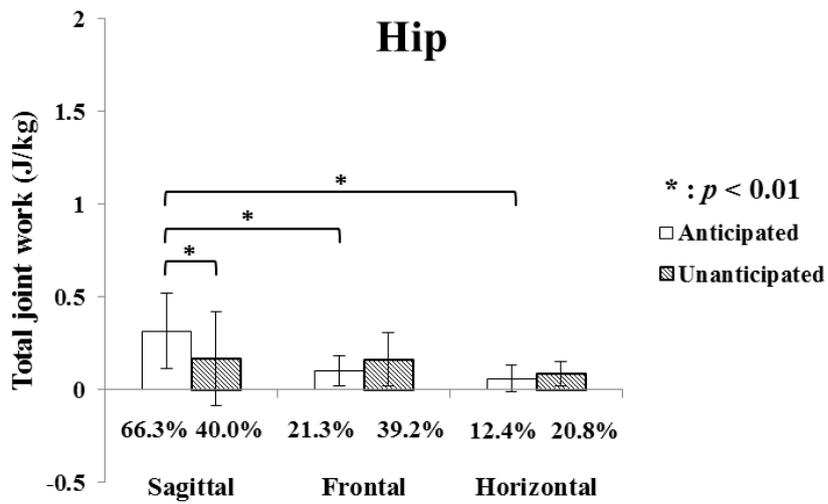


図 3.34 股関節仕事量

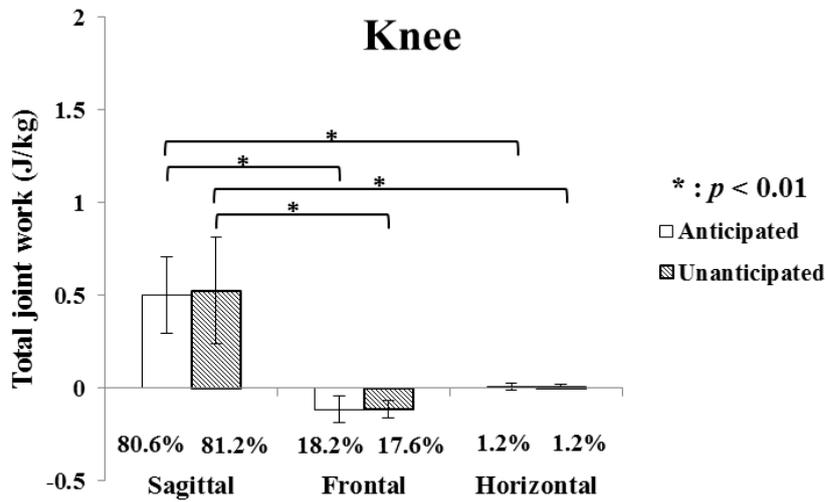


図 3.35 膝関節仕事量

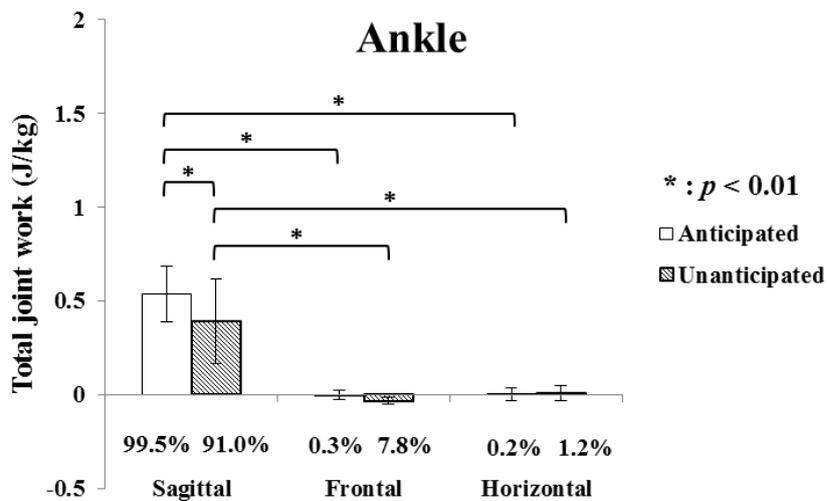


図 3.36 足関節仕事量

3.1.2 考察

本節では、被験者にとって最適動作で遂行できると考えられる既知条件と選択反応を伴う未知条件を比較し、生じるキネマティクス・キネティクスの差異からディフェンスを想定した半身姿勢側の斜め後方への方向転換の速度生成のメカニズムを明らかにしようとした。本節では、次の3点が明らかとなった。(1)半身姿勢側の斜め後方への方向転換の速度生成には、下肢の伸展/屈曲における関節仕事量の増大が重要であること、(2)未知条件において、下肢の伸展/屈曲における関節仕事量を増大させるためには、方向転換足の接地期前半に発揮される股関節の伸展/屈曲パワーと方向転換足の接地期後半に発揮される足関節の底屈/背屈パワーを高めることが重要であること、(3)下肢の伸展/屈曲における関節仕事量の増大には、新たな移動方向へ身体を向けることが重要であること。

先行研究より、助走速度の違いが方向転換動作中の膝関節の屈曲角度や外反負荷の増大が引き起こされることが報告されている(Vanrenterghem et al., 2012)。彼らの知見は、助走速度は下肢のキネマティクス・キネティクスに影響を与えることを示す。本研究では、条件間で助走速度の有意な差は認められなかった。そのため、条件間における助走速度の差が下肢のキネマティクス・キネティクスに及ぼす影響は小さいと考えられる。一方で、既知条件は未知条件と比較して、方向転換足の接地期間中における身体重心スピード変化量は有意に大きく、接地時間も有意に短かった(表 3.1)。すなわち、既知条件は未知条件と比較して、方向転換足の接地期間中における身体重心スピード変化率は有意に大きかった(表 3.1)。この結果は、既知条件は未知条件と比較して、高いパフォーマンスを発揮していたことを示す。

既知条件と未知条件ともに、下肢の伸展/屈曲における関節仕事量が、下肢全体でなされた関節仕事量の90%以上を占めていた(図 3.33)。さらに、未知条件は既知条件と比較して、下肢の伸展/屈曲における関節仕事量が小さく(図 3.33)、身体重心スピードの変化量も小さかった(表 3.1)。これらの結果は、未知条件は既知条件と比較して、下肢の伸展/屈曲における仕事が小さかったため、身体重心スピード変化量が低下したことを示しており、半身姿勢側の斜め後方への方向転換の速度生成には、下肢の伸展/屈曲における仕事の増大が重要であることを示している。また、Inaba et al. (In press)は、身体重心スピードを変化させるために異なる距離へのサイドステップを行った結果、距離が遠くなるにつれて下肢の伸展/屈曲における関節仕事量が増大したと報告した。直線的なスプリントのような身体の正面への移動だけではなく、側方や斜め後方への移動についても、下肢の伸展/

屈曲における関節仕事量の増大が重要であるという点で、本研究と彼らの研究知見は一致し、この結果は本研究知見の妥当性を支持するものである。

未知条件は既知条件と比較して、下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量は小さかったが、膝関節の伸展/屈曲における関節仕事量に条件間で有意な差は認められなかった(図 3.35)。斜め前方への方向転換動作を既知条件と未知条件で比較した研究において、条件間の膝関節の伸展モーメントに条件間で有意な差は認められなかったことが報告されている(Dempsey et al., 2009)。これらの結果は、膝関節の伸展/屈曲の力発揮が条件間で類似していることを示すものである。膝関節は伸展/屈曲軸以外の動きが小さい関節であり

(Boone, D. C. & Azen, S. P., 1979)、関節構造が結果に影響を与えたことが示唆される。一方、未知条件は既知条件と比較して、股関節の伸展/屈曲と足関節の底屈/背屈における関節仕事量は有意に低値であった(図 3.34・図 3.36)。また、方向転換足の接地期前半に発揮される正の股関節パワーと接地期後半に発揮される正の足関節パワーの最高値は、未知条件は既知条件と比較して有意に低値であった(図 3.24・図 3.30)。これらの結果より、未知条件において下肢の伸展/屈曲における関節仕事量を増大させるためには、方向転換足の接地期前半に発揮される股関節の伸展/屈曲パワーと接地期後半に発揮される足関節の底屈/背屈パワーを高めることが重要であると言える。

未知条件は既知条件と比較して、新たな移動方向に対する身体(上胴部・骨盤部・足部)の回旋角度が小さかった(表 3.2・図 3.2-3.4)。既知条件では予め新たな移動方向へ身体を回旋させながら方向転換をする。一方で、未知条件は光刺激装置の点灯に反応してから身体を回旋させ、方向転換を行う。未知条件では、光刺激装置の点灯から方向転換足の接地までの時間は 0.32 ± 0.07 秒しかなかった。そのため、方向転換動作を開始するまでの時間を十分に得ることができず、既知条件と比較して身体の回旋角度が小さくなったと考えられる。Fleischmann et al. (2010, 2011) は、足部を移動方向へ回旋させることで、矢状面の関節角度変位を増大させることができ、前額面の関節負荷を矢状面に移行することができることを明らかにした。関節仕事量が関節モーメントと角度の変位量の積から求まることを踏まえると、彼らの知見は、足部の移動方向への回旋が下肢の伸展/屈曲における関節仕事量の増大に寄与することを示すものである。すなわち、未知条件では新たな移動方向に対する身体の回旋角度が小さいため、下肢の伸展/屈曲における仕事をしにくい姿勢となり、関節仕事量が低下したと言える。この知見は、下肢の伸展/屈曲における仕事量増大には、新たな移動方向に対して身体を向ける角度を大きくすることが重要であることを示

すものである。

3.2 未知条件におけるパフォーマンスレベルによる動作の違いの検討

「3.1 既知条件と未知条件の動作の比較」では、条件間で生じるキネマティクス・キネティクスの差から、半身姿勢側へ行った後方への方向転換の速度生成のメカニズムを明らかにしようとした。本節では、明らかとした既知条件と未知条件の間に生じたキネマティクス・キネティクスの差が、未知条件内における被験者のパフォーマンスレベルの優劣によっても同様の見解が得られるかを検討し、実際の競技場面を想定した未知条件における後方への方向転換の速度生成のメカニズムを明らかにしようとした。

3.2.1 結果

上胸部・骨盤部・足部のセグメントの回旋角度と下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量の相関関係を検討したところ（表 3.3）、方向転換足が接地した瞬間における骨盤部の回旋角度と下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量の相関に有意傾向がみられた（ $r = 0.44, p = 0.07$ ）。また、方向転換足の離地する瞬間の上胸部・骨盤部のセグメントの回旋角度と下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量との間に有意な正の相関関係が認められた（上胸部： $r = 0.71, p < 0.01$ ・骨盤部： $r = 0.63, p < 0.01$ ）。

表 3.3 セグメントの回旋角度と下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量の相関係数

	Upper trunk		Pelvis		Foot	
	Foot contact	Foot off	Foot contact	Foot off	Foot contact	Foot off
Joint work (Ext/Flex)	0.40(n.s.)	0.71*	0.44(n.s.)	0.63*	0.18(n.s.)	0.38(n.s.)

* Significant at $p < 0.01$ level.

未知条件と既知条件の両条件に共通して、下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量と方向転換足の接地期間中における身体重心スピード変化量との間に有意な正の相関関係が認められた。また、未知条件のみ下肢三関節の外転（外反）/内転（内反）における関節仕事量と方向転換足の接地期間中における身体重心スピード変化量との間に有意な正の相関関係が認められた（図 3.37）。

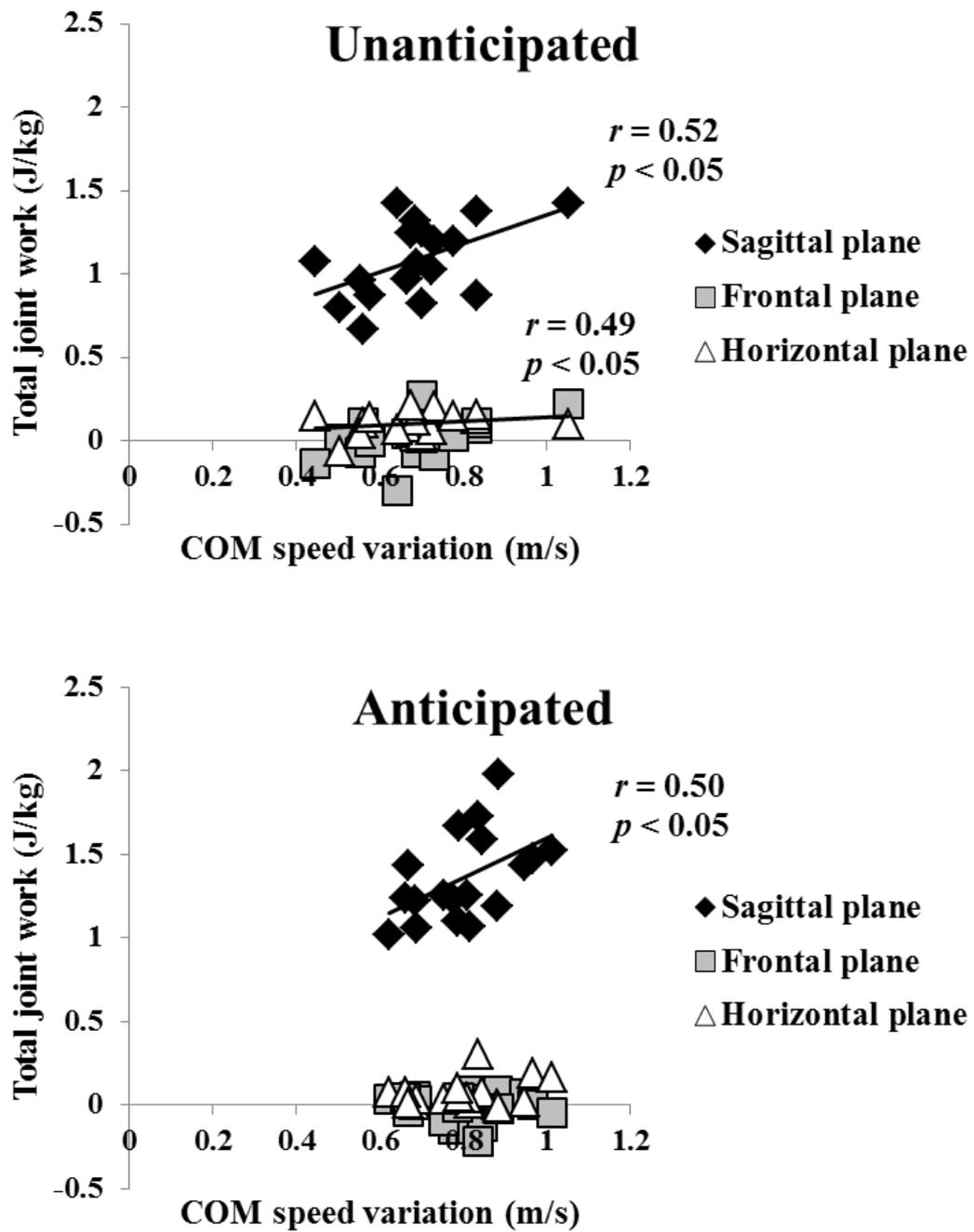


図 3.37 関節仕事量と身体重心スピード変化量の相関関係

股関節は、方向転換足の接地期後半まで外転変位をしていたが、その後は内転モーメントを発揮しながら内転変位をしていた（図 3.38）。また、股関節外転/内転パワーは、方向転換足の接地期前半では負のパワーを発揮していたが、その後、正のパワーを発揮していた（図 3.39）。

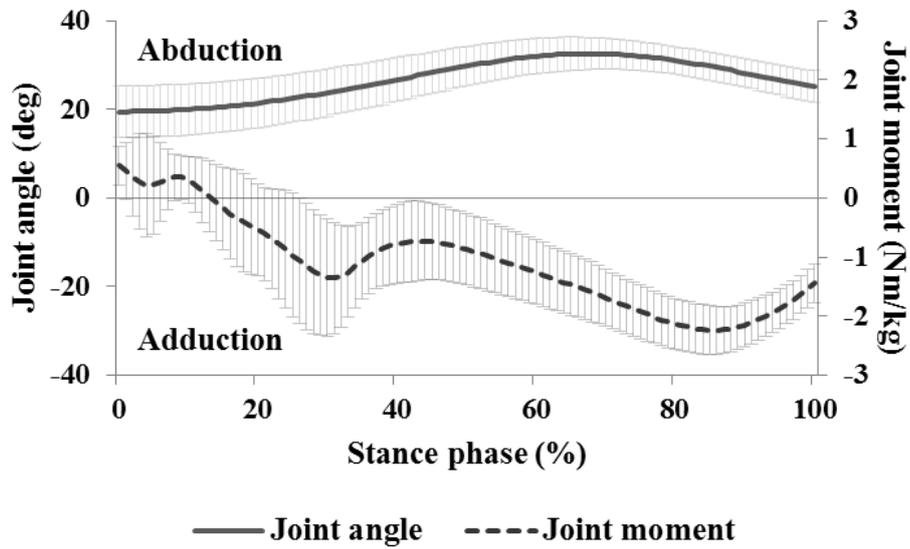


図 3.38 股関節外転/内転角度・モーメント

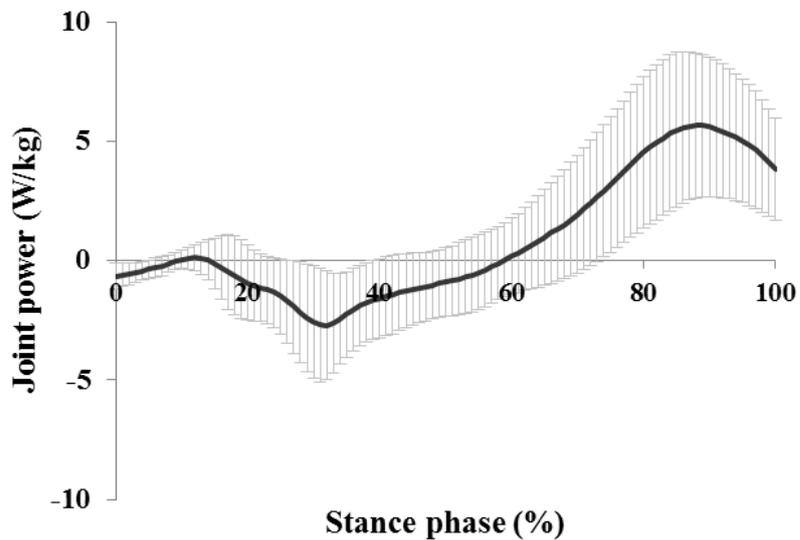


図 3.39 股関節外転/内転パワー

未知条件のみ、股関節内転モーメントの最高値とフリーモーメントの最高値との間に有意な正の相関関係が認められた。さらに、未知条件股関節内転モーメントの最高値と足関節底屈/背屈パワーの最高値との相関に有意傾向がみられた（表 3.4）。

表 3.4 股関節内転モーメントとフリーモーメント，足関節パワーの相関関係

	Free moment(Peak value)		Ankle joint power (Peak value)	
	Anticipated	Unanticipated	Anticipated	Unanticipated
Hip adduction moment (Peak value)	r = -0.12 p = 0.62	r = 0.53 p < 0.05	r = 0.19 p = 0.45	r = 0.41 p = 0.09

3.2.2 考察

本節では、既知条件と未知条件の間に生じたキネマティクス・キネティクスの差が、未知条件内における被験者のパフォーマンスレベルの優劣によっても同様の見解が得られるか否かを、相関分析を用いて検討した。そして、サッカーの1対1のディフェンスの局面で見られる、オフenseの選手の動きに反応して半身姿勢側の斜め後方へ方向転換を行う場面を想定した、未知条件における後方への方向転換の速度生成のメカニズムを明らかにしようとした。本節では、次の3点が明らかとなった。(1)未知条件における半身姿勢側の斜め後方への方向転換の速度生成には、下肢の伸展/屈曲における関節仕事量の増大が重要であること、(2)未知条件において、下肢の外転/内転における力発揮は、下肢の伸展/屈曲における力発揮を高めるための姿勢調整などの役割を果たし、間接的に速度生成に貢献する可能性があること、(3)下肢の伸展/屈曲における関節仕事量の増大には、新たな移動方向へ身体を向けることが重要であること。

下肢三関節における伸展/屈曲における関節仕事量は、外転（外反）/内転（内反）・外旋（回外）/内旋（回内）における関節仕事量と比較して有意に大きいのみならず、方向転換動作中の身体重心スピード変化量との間に有意な相関関係が認められた（図 3.37）。したがって、半身姿勢側の斜め後方への方向転換の速度を向上するためには、下肢の伸展/屈曲における力発揮を高めることが重要であると言える。

また、未知条件においてのみ、下肢の外転/内転における関節仕事量と身体重心スピード変化量に正の相関関係が認められた。（図 3.37）。しかし、方向転換足の接地期前半では、股関節は外転変位をしながら内転モーメントを発揮しており（図 3.38）、速度生成のための力発揮はなされていなかった。斜め前方へ方向転換を行った先行研究では、股関節の外

転/内転の役割は、速度生成のためにパワー発揮をするよりもむしろ、股関節を安定させるために貢献すると報告している(Neptune et al., 1999; Houck et al., 2006)。これらの知見から、斜め後方への方向転換動作においても同様に、方向転換足の接地期前半の股関節内転モーメントは、過度の股関節外転を抑制するといった関節を安定させるための役割を担い、下肢の伸展/屈曲における力発揮をしやすいように姿勢を調整するために貢献していると考えられる。一方で、正の股関節外転/内転パワーは、方向転換足の接地期後半に増大した(図 3.39)。方向転換足の接地期後半における股関節は、内転モーメントを発揮しながら内転変位をしていた(図 3.38)。つまり、方向転換足の接地期後半で発揮された正の股関節外転/内転パワーは内転方向になされていた。この股関節内転モーメントは、足部と地面の摩擦により鉛直軸周りに生じるフリーモーメントの増大と関連していた(表 3.4)。フリーモーメントは、方向転換足の接地期初期では身体の回旋の影響を受け足部の回内方向へ生じた。次に、身体の回旋の反作用の影響を受け足部の回外方向へのモーメントが生じた後に、下肢を新たな移動方向へ回旋させるため再び足部の回内方向へのモーメントが生じた。つまり、方向転換足の接地期後半に発揮された股関節内転モーメントは、足関節の底屈/背屈における力発揮をしやすいように、下肢を新たな移動方向へ回旋させる(knee in)役割を担うことが示唆された。したがって、下肢の外転/内転における仕事は、下肢の伸展/屈曲における力発揮を高めるための姿勢調整などの役割を果たし、間接的に速度生成に貢献することが示唆された。

新たな移動方向に対する身体(上胴部・骨盤部・足部)の回旋角度では、方向転換足の離地時の上胴部と骨盤部の回旋角度と下肢の伸展/屈曲における関節仕事量には有意な相関関係が認められた。(表 3.3)。これらの結果は、下肢の伸展/屈曲における仕事量増大には、新たな移動方向に対して身体を向ける角度を大きくすることが重要であることを示すものである。

第4章 非半身姿勢側への方向転換

オフENSEの選手はディフェンスの選手の背後の方向（非半身姿勢側）への進入を試みたり、あえてディフェンスの選手の半身姿勢側への進入を試みたりと、ディフェンスの選手をかわすために駆け引きをする。そのため、ディフェンスの選手は半身姿勢側・非半身姿勢側を問わずに、オフENSEの選手の動きに反応し、素早く後方へ方向転換をする能力が要求される。第3章では、半身姿勢側への方向転換の速度生成のメカニズムを検討した。本章では、対峙するオフENSEの選手に半身姿勢側とは反対側の背後の方向（非半身姿勢側）へ進入された場面を想定し、そのディフェンス局面で見られる非半身姿勢側への方向転換の速度生成のメカニズムを検討した。なお、被験者は男子大学サッカー選手19名（年齢: 19.7 ± 1.3 歳; 身長: 172.6 ± 5.6 cm; 体重: 69.5 ± 6.0 kg; 平均 \pm 標準偏差）を対象とした。

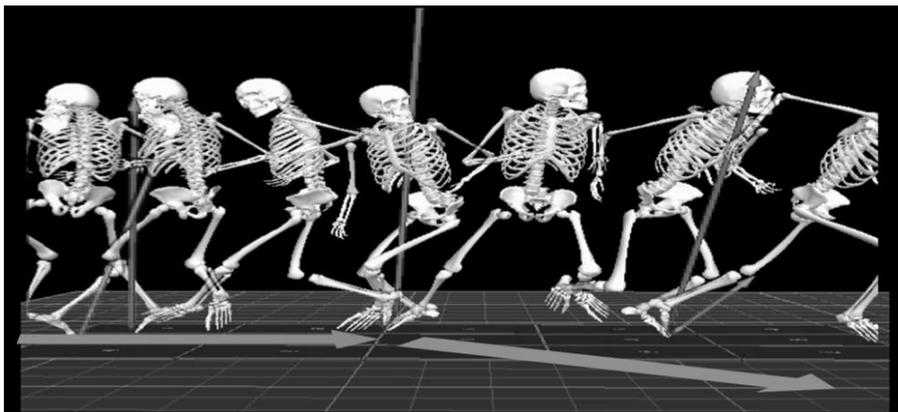


図 4.1 非半身姿勢側への方向転換動作

4.1 既知条件と未知条件の動作の比較

非半身姿勢側への方向転換における、被験者にとって最適動作と考えられる予め移動方向を指示した「既知条件」と、オフENSEの選手の動きに反応するといった実際の競技場面を想定し、方向転換を行う直前に移動方向を指示する「未知条件」の2条件を実施した。そして、被験者にとっての最適動作と比較して、認知・意思決定を伴うことによって生じるキネマティクス・キネティクスの違いから、後方への方向転換の速度生成のメカニズムを検討した。

4.1.1 結果

被験者の助走速度（平均±標準偏差）は、既知条件が 2.44 ± 0.20 m/s、未知条件が 2.24 ± 0.19 m/s であった。助走速度には条件間で有意な差が認められた ($p < 0.01$)。方向転換足の接地期間中における身体重心スピード変化量は、未知条件と既知条件との間に有意な差は認められなかった（表 4.1）。方向転換足の接地時間は、未知条件は既知条件よりも有意に長かった（表 4.1）。方向転換足の接地期間中における身体重心スピード変化率は、未知条件と既知条件との間に有意に小さかった（表 4.1）。また、未知条件の反応時間は、 0.38 ± 0.04 秒であった。

表 4.1 身体重心スピード変化量・接地時間・身体重心スピード変化率

COM speed variation (m/s)		Contact time (sec)		Rate of COM speed change (m/s ²)	
Anticipated	Unanticipated	Anticipated	Unanticipated	Anticipated	Unanticipated
0.74 ± 0.17	0.69 ± 0.27	0.23 ± 0.03	0.27 ± 0.04 *	3.23 ± 0.74	2.61 ± 1.09 *

* significant difference between the anticipated and unanticipated ($p < 0.01$).

方向転換足が接地した瞬間の上胴部・骨盤部・足部のそれぞれ回旋角度は、既知条件と比較して、未知条件は有意に小さかった。また、上胴部と骨盤部は、方向転換足が離地する瞬間においても同様に、既知条件と比較して、未知条件は有意に小さかった（表 4.2、図 4.2 - 4.4）。

表 4.2 セグメントの回旋角度

	Anticipated		Unanticipated	
	Foot contact	Foot off	Foot contact	Foot off
Upper trunk	-15.2 ± 19.9	64.5 ± 16.7	-34.3 ± 19.9 *	56.2 ± 20.0 *
Pelvis	-5.5 ± 18.2	68.6 ± 11.0	-19.5 ± 16.6 *	61.2 ± 13.5 *
Foot	-7.5 ± 17.6	23.3 ± 14.4	-22.9 ± 16.6 *	20.2 ± 16.1

* significant difference between the anticipated and unanticipated ($p < 0.01$).

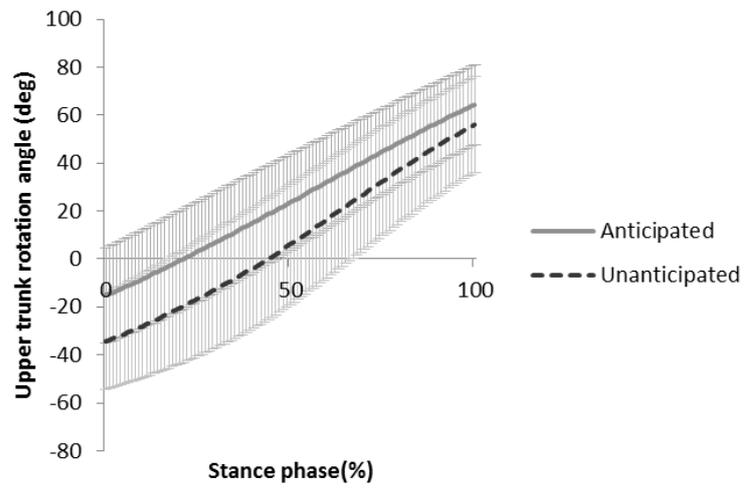


图 4.2 上胴部回旋角度

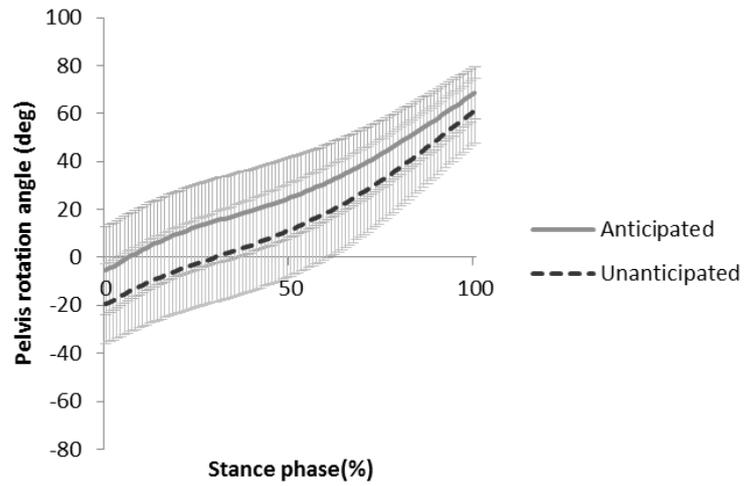


图 4.3 骨盤部回旋角度

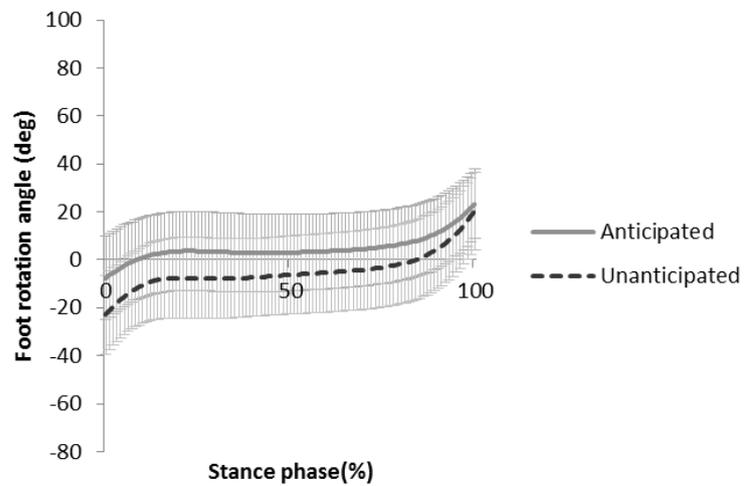


图 4.4 足部回旋角度

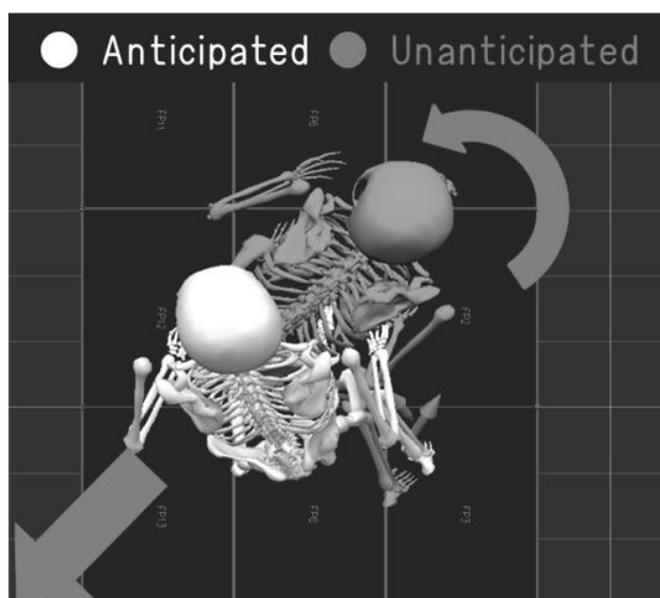


図 4.5 方向転換足が接地した瞬間における身体の向き（既知条件と未知条件の比較例）

矢状面における股関節角度は、両条件に共通して方向転換足の接地期初期では伸展していくが、接地期半ばにかけて屈曲し、その後、離地までにかけて再び伸展変位をした。なお、方向転換足の接地した瞬間における股関節屈曲角度は、未知条件は既知条件と比較して有意に大きかった ($p < 0.01$, 図 4.6)。前額面における股関節角度は、両条件に共通して方向転換足の接地期後半まで股関節は外転変位をし続けたが、その後、離地までにかけて内転変位をした。なお、方向転換足の接地した瞬間における股関節外転角度は、未知条件は既知条件と比較して有意に大きかった ($p < 0.01$, 図 4.7)。水平面における股関節角度は、両条件に共通して方向転換足の接地期初期に内旋変位をしたが、その後、接地期後半まで外転変位をし、さらに離地までにかけて再び内旋変位をした。なお、方向転換足の接地した瞬間における股関節内旋角度は、未知条件は既知条件と比較して有意に大きかった ($p < 0.01$, 図 4.8)。

矢状面における膝関節角度は、既知条件では屈曲位から方向転換足の接地期後半まで伸展し続けた。一方で、未知条件は方向転換足の接地期前半に一度屈曲した後に、方向転換足の接地期後半まで伸展した。なお、方向転換足の接地した瞬間における膝関節屈曲角度は、未知条件は既知条件と比較して有意に小さかった ($p < 0.05$, 図 4.9)。前額面における膝関節角度は、両条件に共通して方向転換足の接地期後半まで外反位から内反変位をした。なお、条件間の膝関節外転/内転の関節角度変位に有意な差は認められなかった (図 4.10)。水平面における膝関節角度は、両条件に共通して方向転換足の接地期初期に一度、内旋変位をするが、その後、外旋変位をした。なお、条件間の膝関節外旋/内旋の関節角度変位に有意な差は認められなかった (図 4.11)。

矢状面における足関節角度は、両条件に共通して方向転換足の接地期前半では背屈位からさらに背屈変位をするが、その後、離地までにかけて底屈変位した。なお、条件間の足関節底屈/背屈の関節角度変位に有意な差は認められなかった (図 4.12)。前額面における足関節角度は、両条件に共通して内反位から方向転換足の接地期後期までにかけてさらに内反変位をし、その後、外反をした。なお、条件間の足関節外反/内反の関節角度変位に有意な差は認められなかった (図 4.13)。水平面における足関節角度は、両条件に共通して内旋変位から外旋変位をし、方向転換足の接地期後半まで再び内旋変位をした後に、離地までにかけて再び外旋変位をした。なお、方向転換足の接地した瞬間における足関節の内旋角度は、未知条件は既知条件と比較して有意に小さかった ($p < 0.01$, 図 4.14)。

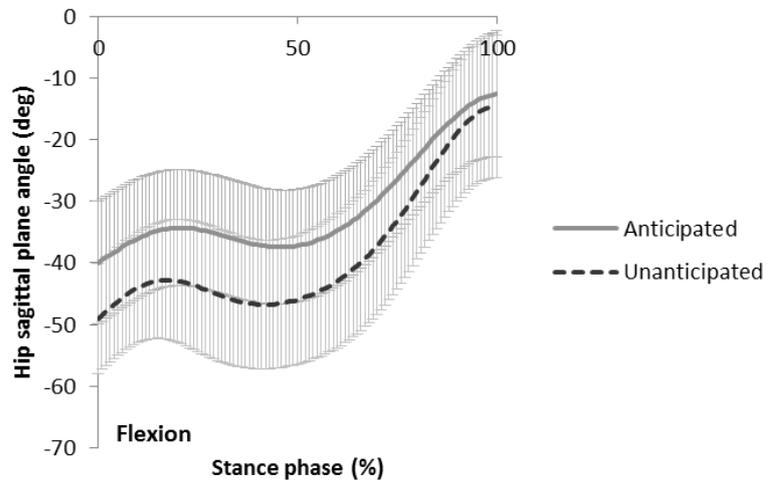


図 4.6 股関節伸展/屈曲角度

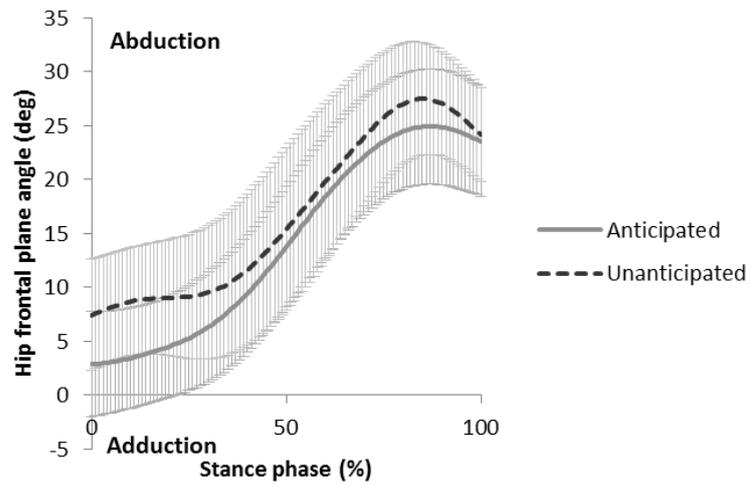


図 4.7 股関節外転/内転角度

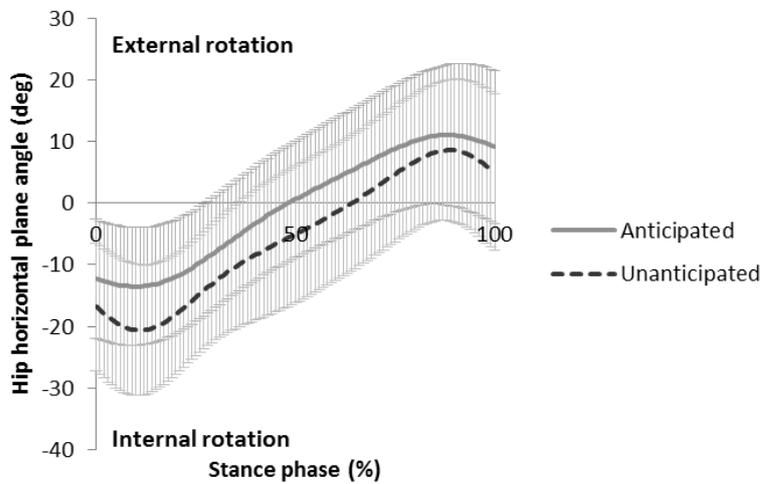


図 4.8 股関節外旋/内旋角度

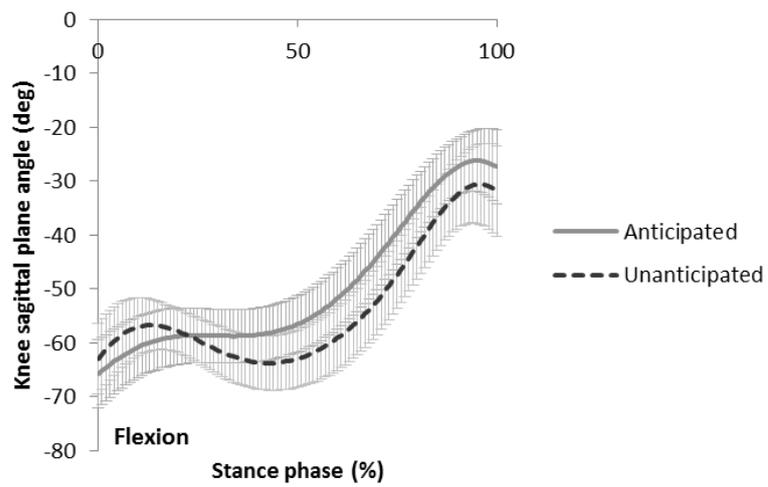


図 4.9 膝関節伸展/屈曲角度

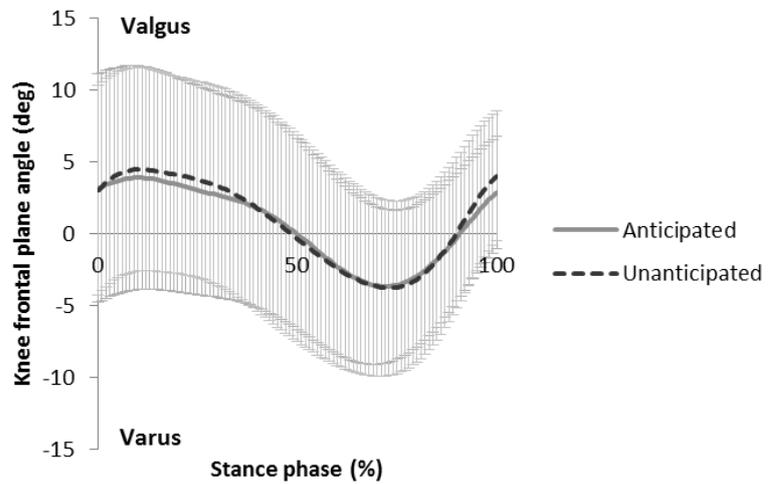


図 4.10 膝関節外反/内反角度

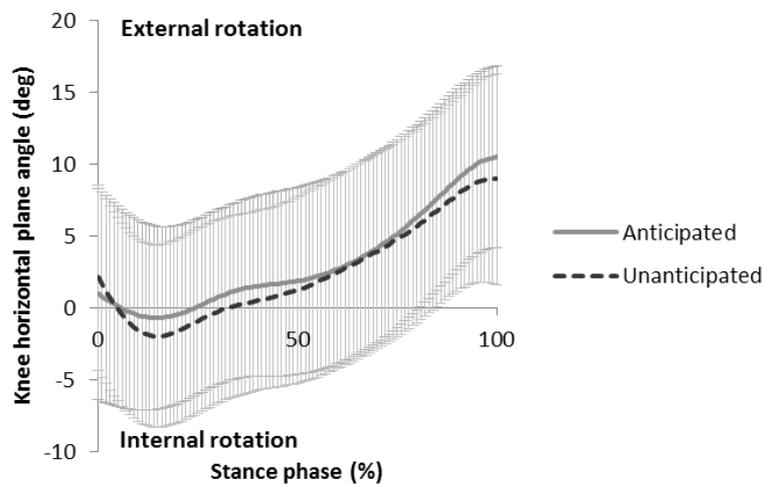


図 4.11 膝関節外旋/内旋角度

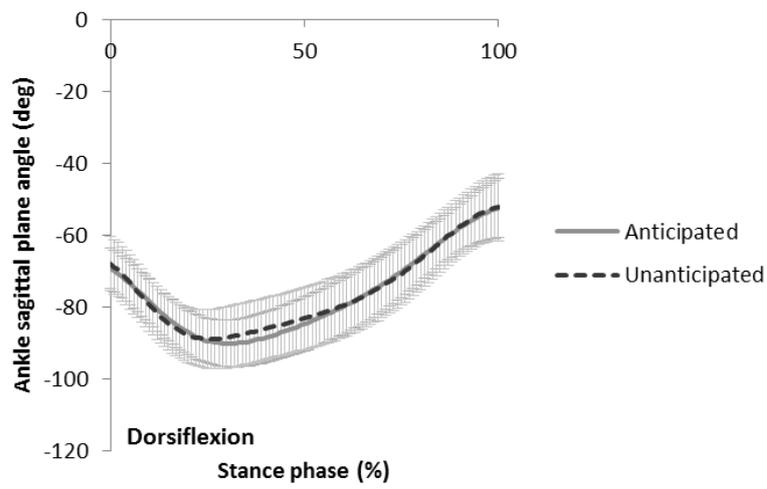


図 4.12 足関節底屈/背屈角度

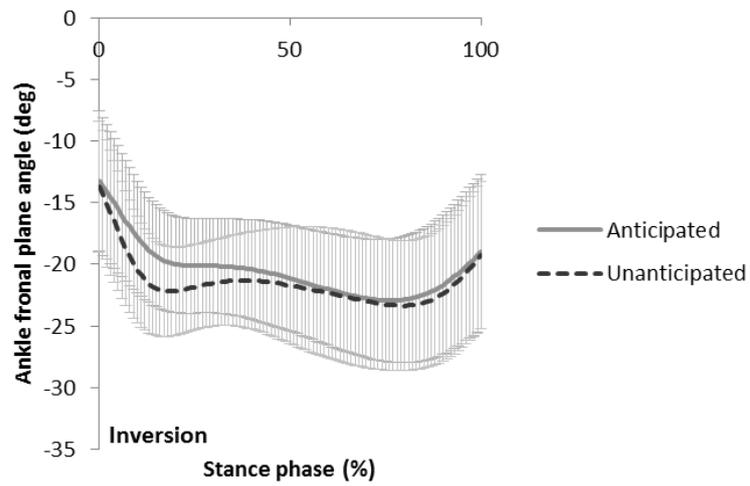


図 4.13 足関節外反/内反角度

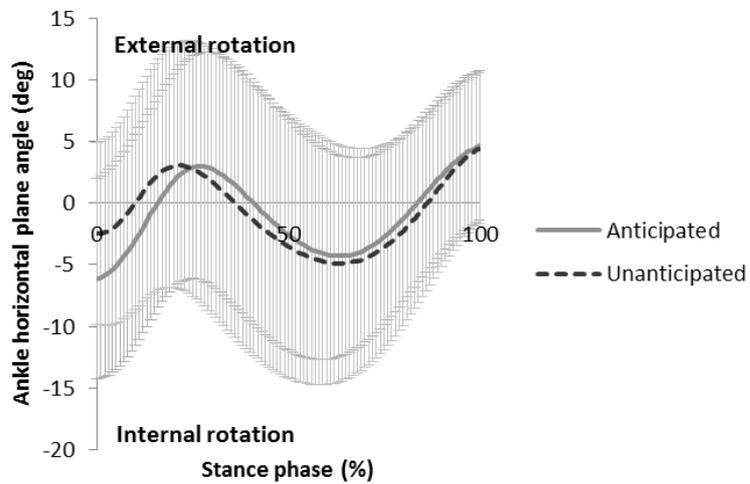


図 4.14 足関節回外/回内角度

矢状面における股関節モーメントは、両条件に共通して方向転換足の接地期初期には屈曲モーメントがなされていたが、その後、方向転換足の接地期後半まで伸展モーメントがなされていた。なお、股関節モーメントの最高値は、未知条件は既知条件と比較して有意に高値であった ($p < 0.01$, 図 4.15)。前額面における股関節モーメントは、両条件に共通して方向転換足の接地期前半では、内転モーメントと外転モーメントが振幅してなされていたが、方向転換足の接地期後半は内転モーメントがなされていた。なお、方向転換足の接地期前半 (50%まで) の股関節外転モーメントの最高値は、未知条件は既知条件と比較して有意に低値であった ($p < 0.01$, 図 4.16)。水平面における股関節モーメントは、両条件に共通して、方向転換足の後半まで外旋モーメントがなされていたが、その後、内旋モーメントがなされていた。なお、股関節の外旋モーメントの最高値は、未知条件は既知条件と比較して有意に高値であった ($p < 0.01$, 図 4.17)。

矢状面における膝関節モーメントは、両条件に共通して二峰性を描き、伸展モーメントがなされていた。なお、条件間の膝関節伸展モーメントの最高値に有意な差は認められなかった (図 4.18)。前額面における膝関節モーメントは、両条件に共通して方向転換足の接地期半ばまでは外反モーメントがなされていたが、その後、内反モーメントが高まった。なお、条件間の膝関節外反/内反モーメントに有意な差は認められなかった (図 4.19)。水平面における膝関節モーメントは、両条件に共通して方向転換足の接地期前半に外旋モーメントと内旋モーメントが振幅してなされていた。なお、方向転換足の接地期前半 (50%まで) における膝関節外旋モーメントの最高値は、未知条件は既知条件と比較して有意に高値であった ($p < 0.01$, 図 4.20)。

矢状面における足関節モーメントは、両条件に共通して方向転換足の接地期全域において、底屈モーメントがなされていた。なお、条件間の足関節底屈モーメントに有意な差は認められなかった (図 4.21)。前額面における足関節モーメントは、方向転換足の接地期半ばから内反モーメントが高まったが、その後、離地までにかけて外反モーメントがなされていた。なお、条件間の足関節外反/内反モーメントに有意な差は認められなかった (図 4.22)。水平面における足関節モーメントは、両条件に共通して方向転換足の接地期後半まで回外モーメントがなされていた。なお、条件間の足関節回外/回内モーメントに有意な差は認められなかった (図 4.23)。

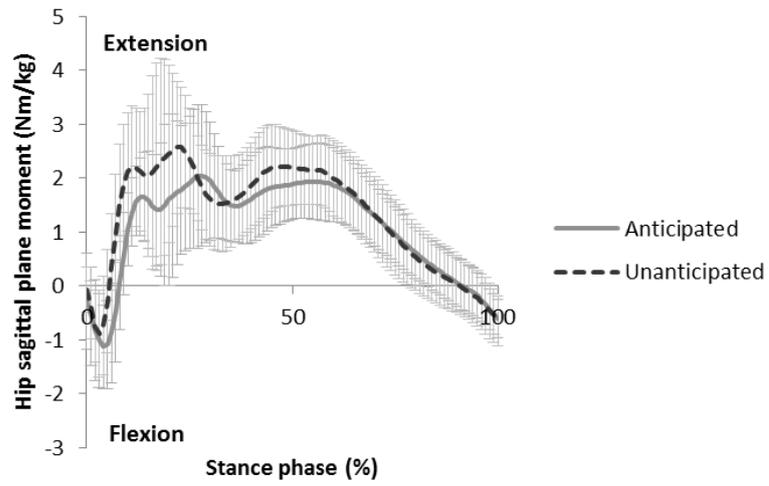


図 4.15 股関節伸展/屈曲モーメント

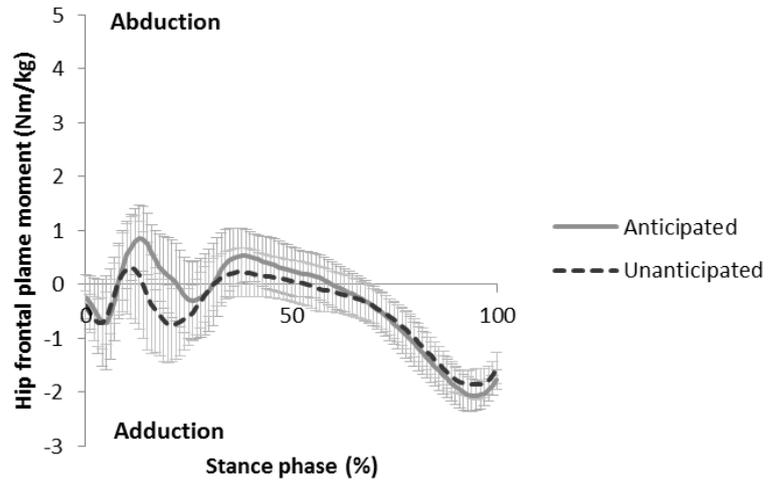


図 4.16 股関節外転/内転モーメント

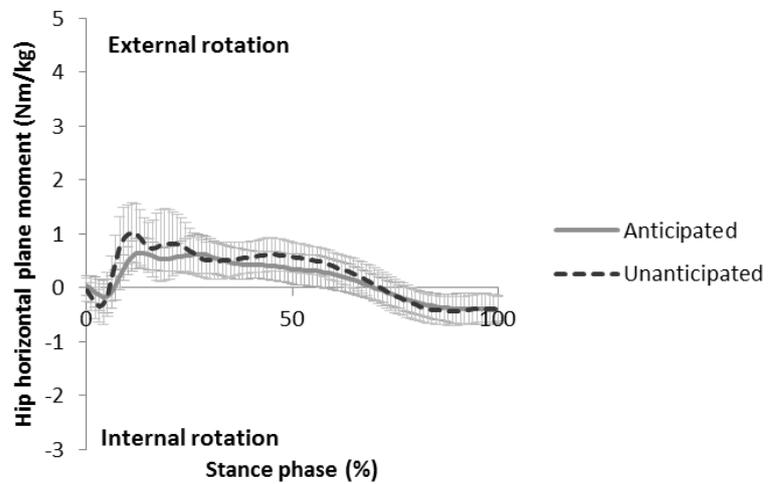


図 4.17 股関節外旋/内旋モーメント

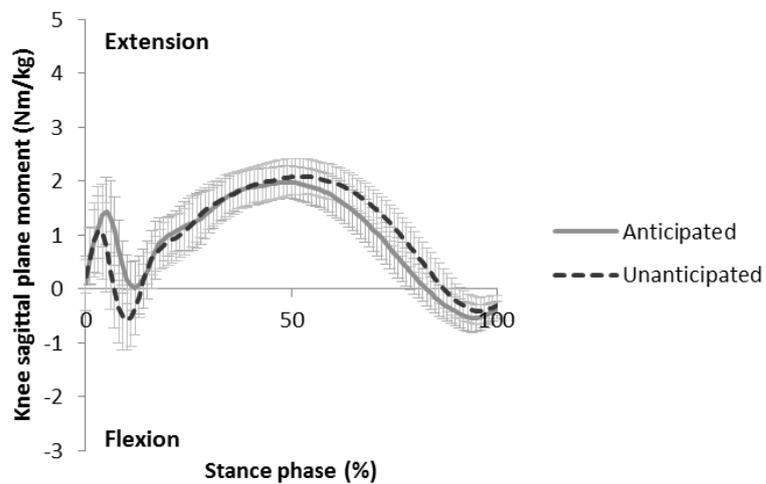


図 4.18 膝関節伸展/屈曲モーメント

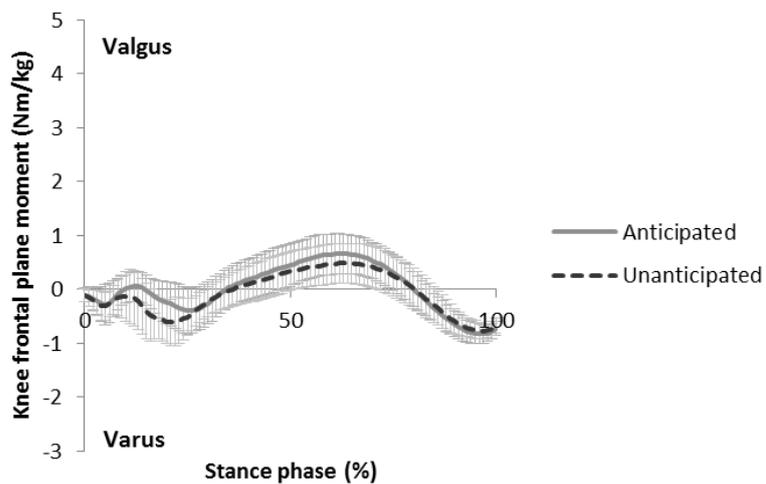


図 4.19 膝関節外反/内反モーメント

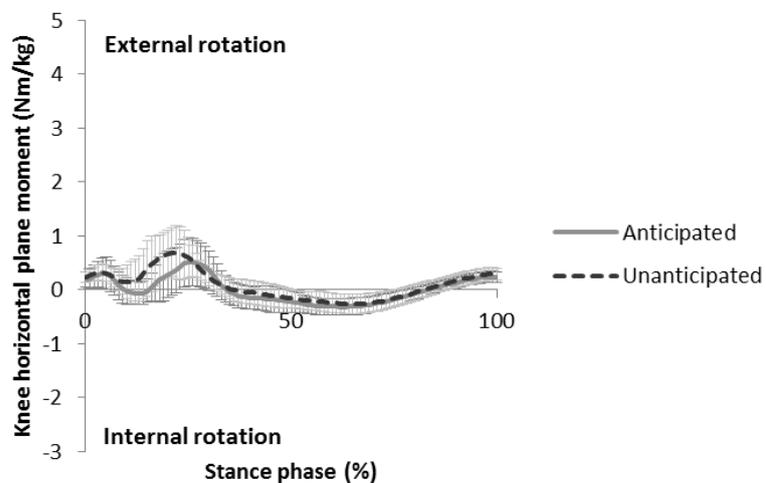


図 4.20 膝関節外旋/内旋モーメント

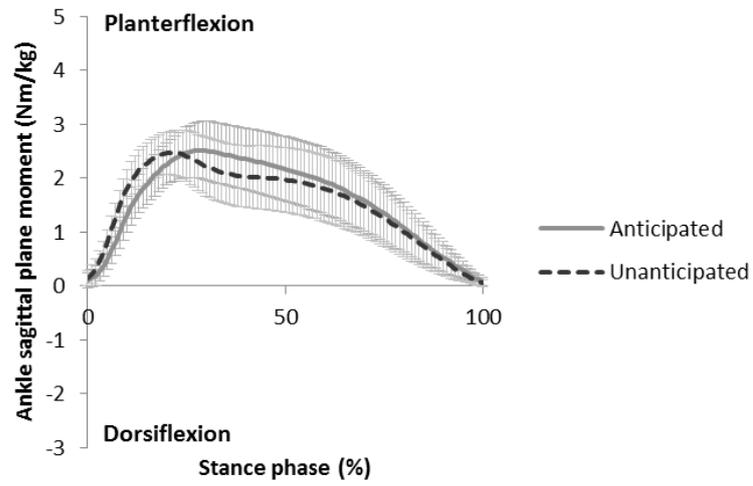


図 4.21 足関節底屈/背屈モーメント

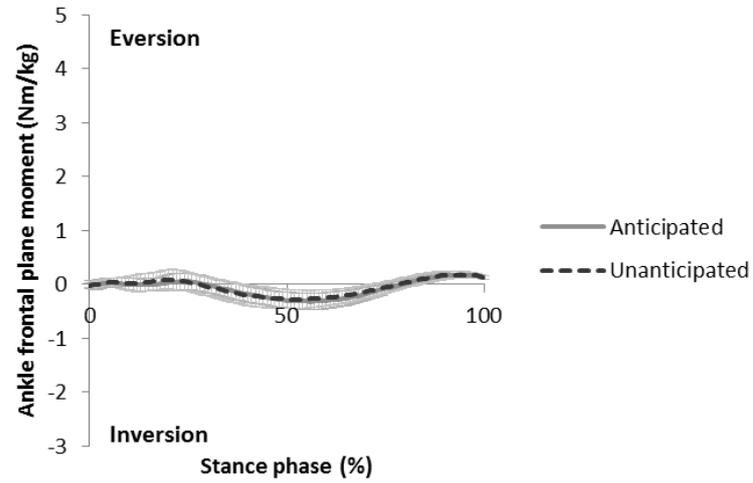


図 4.22 足関節外反/内反モーメント

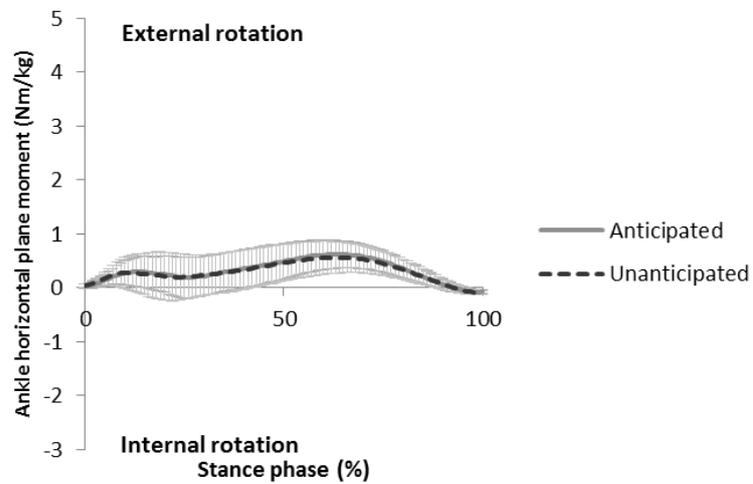


図 4.23 足関節回外/回内モーメント

股関節伸展/屈曲パワーは、両条件に共通して方向転換足の接地期後半に正のパワーが高まった。なお、条件間の正の股関節伸展/屈曲パワーの最高値に有意な差は認められなかった（図 4.24）。股関節外転/内転パワーは、両条件に共通して方向転換足の接地期後半に正のパワーが発揮されていた。なお、条件間の正の股関節外転/内転パワーの最高値に有意な差は認められなかった（図 4.25）。股関節外旋/内旋パワーは、両条件に共通してわずかなパワーしか発揮されておらず、条件間の股関節外転/内転パワーに有意な差は認められなかった（図 4.26）。

膝関節伸展/屈曲パワーは、両条件に共通して方向転換足の接地期後半に正のパワーが高まった。なお、条件間の正の膝関節伸展/屈曲パワーの最高値に有意な差は認められなかった（図 4.27）。膝関節外反/内反パワーは、両条件に共通して方向転換足の接地期後半に負のパワーが発揮されていた。条件間の負の膝関節外反/内反パワーの最高値に有意な差は認められなかった（図 4.28）。膝関節外旋/内旋パワーは、両条件に共通してわずかなパワーしか発揮されていなかった（図 4.29）。

足関節底屈/背屈パワーは、両条件に共通して方向転換足の接地期後半に正のパワーが発揮されていた。なお、正の足関節底屈/背屈パワーの最高値は、知条件は既知条件と比較して有意に低値であった（ $p < 0.01$, 図 4.30）。足関節外反/内反・回外/回内パワーは、両条件に共通してわずかなパワーしか発揮されていなかった（図 4.31, 4.22）。

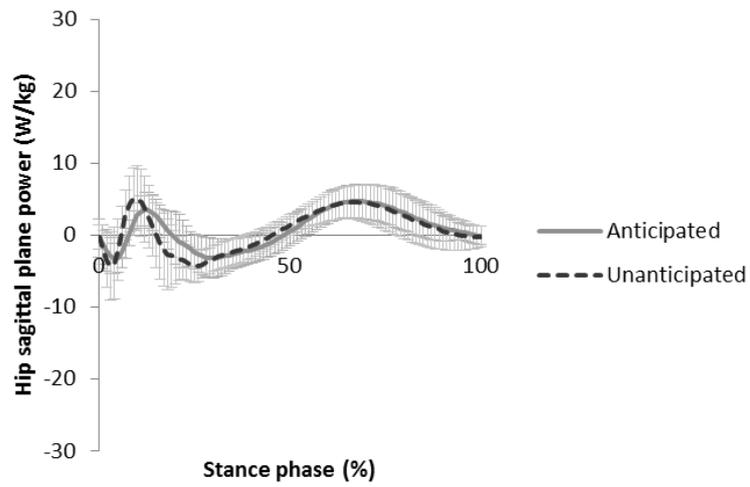


図 4.24 股関節伸展/屈曲パワー

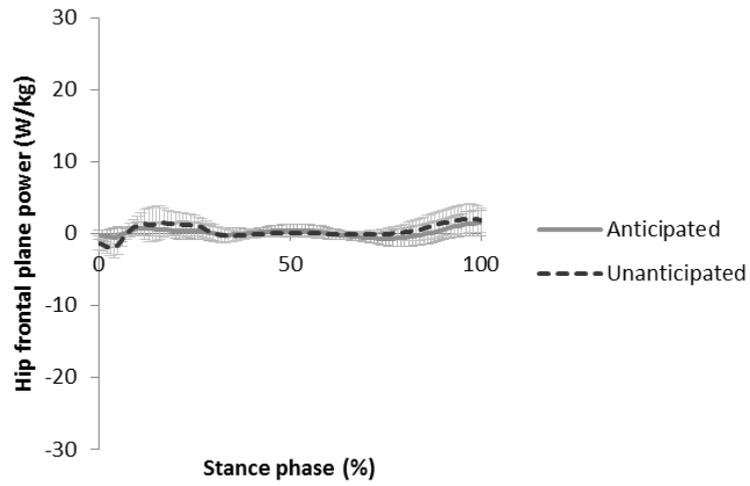


図 4.25 股関節外転/内転パワー

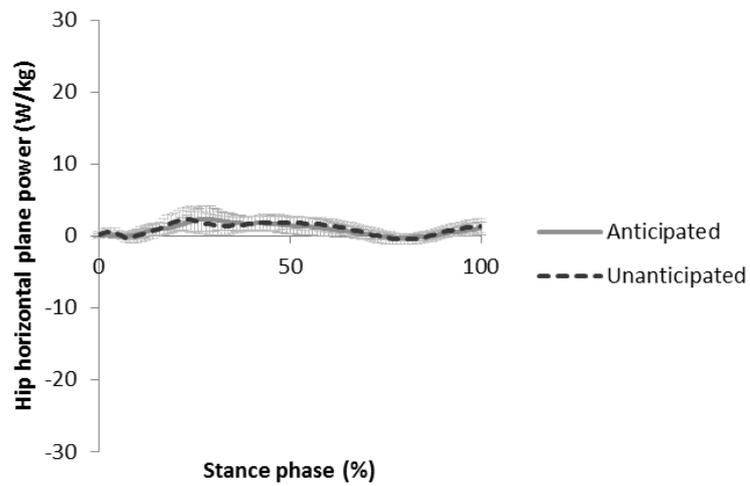


図 4.26 股関節外旋/内旋パワー

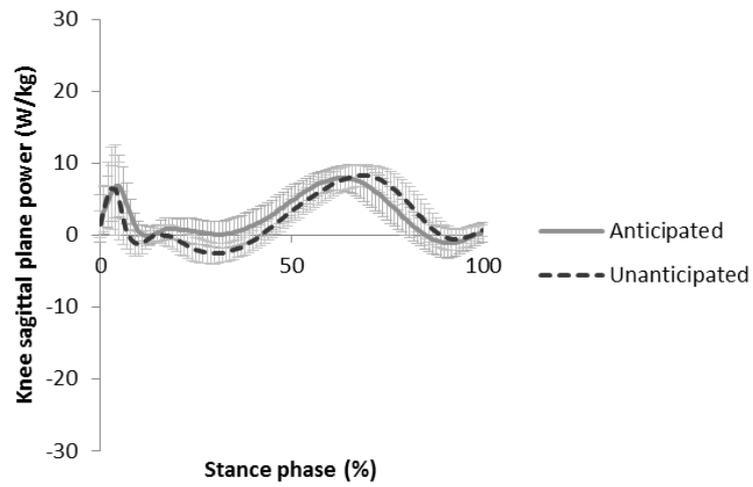


図 4.27 膝関節伸展/屈曲パワー

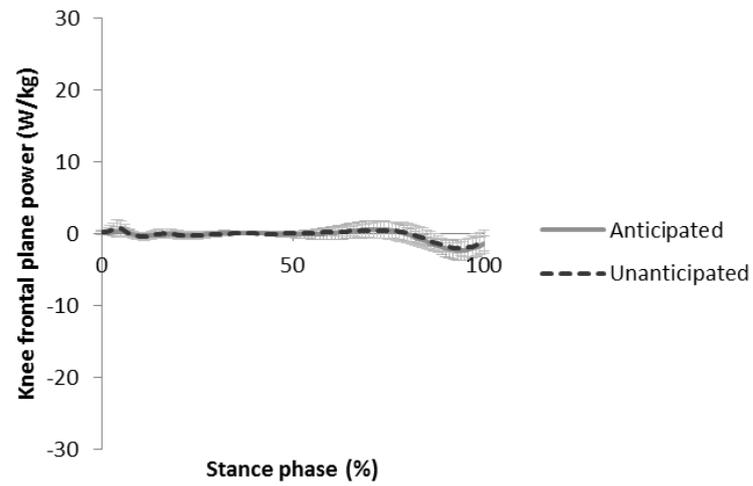


図 4.28 膝関節外反/内反パワー

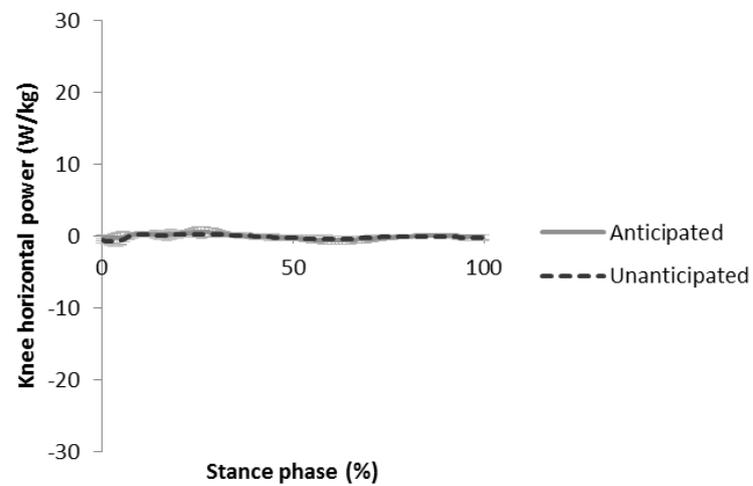


図 4.29 膝関節外旋/内旋パワー

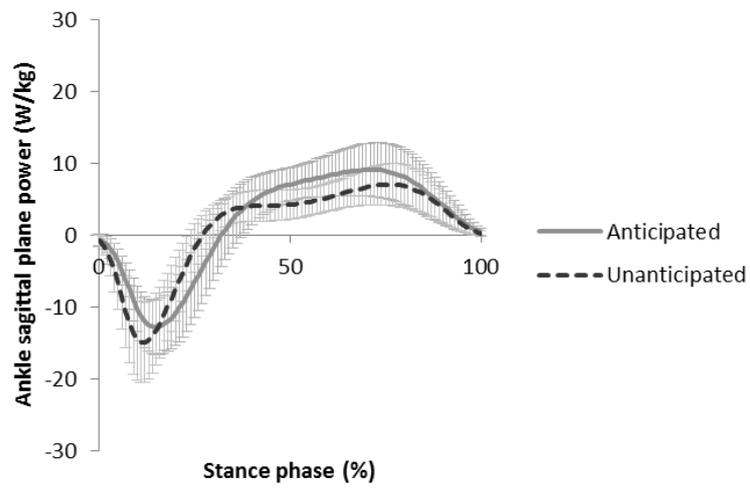


図 4.30 足関節底屈/背屈パワー

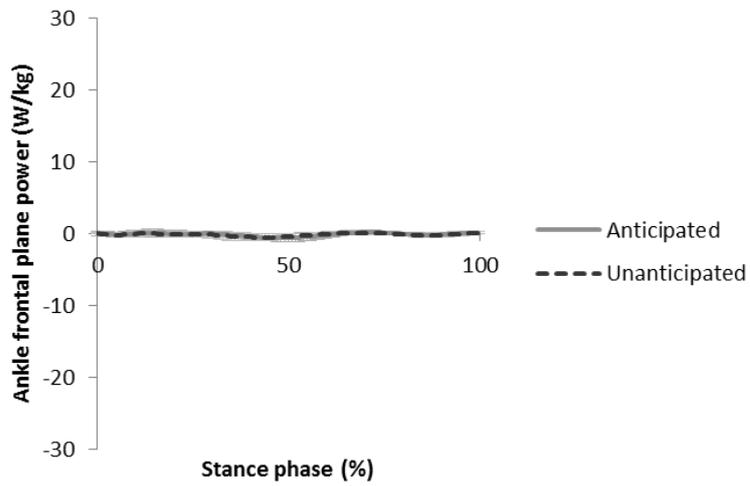


図 4.31 足関節外反/内反パワー

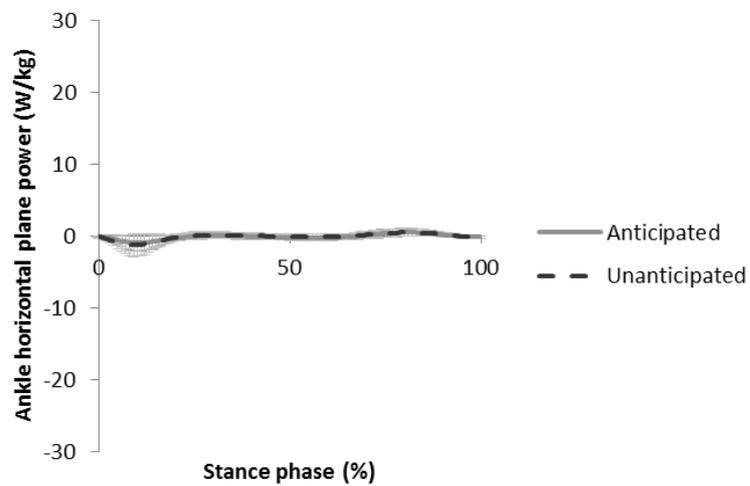


図 4.32 足関節回外/回内パワー

下肢三関節における関節仕事量は、両条件に共通して外転（外反）/内転（内反）における仕事はほとんどなされていなかった。また、外旋（回外）/内旋（回内）における仕事は、両条件に共通して、外転（外反）/内転（内反）における仕事と比較して有意に高値であったが、下肢全体でなされた仕事の20%以下であった。一方で、伸展/屈曲における仕事は有意に高値を示し、下肢全体でなされた仕事の80%以上が伸展/屈曲における仕事であった。また、伸展/屈曲における仕事において、未知条件は既知条件と比較して有意に低値であった（図4.33）。

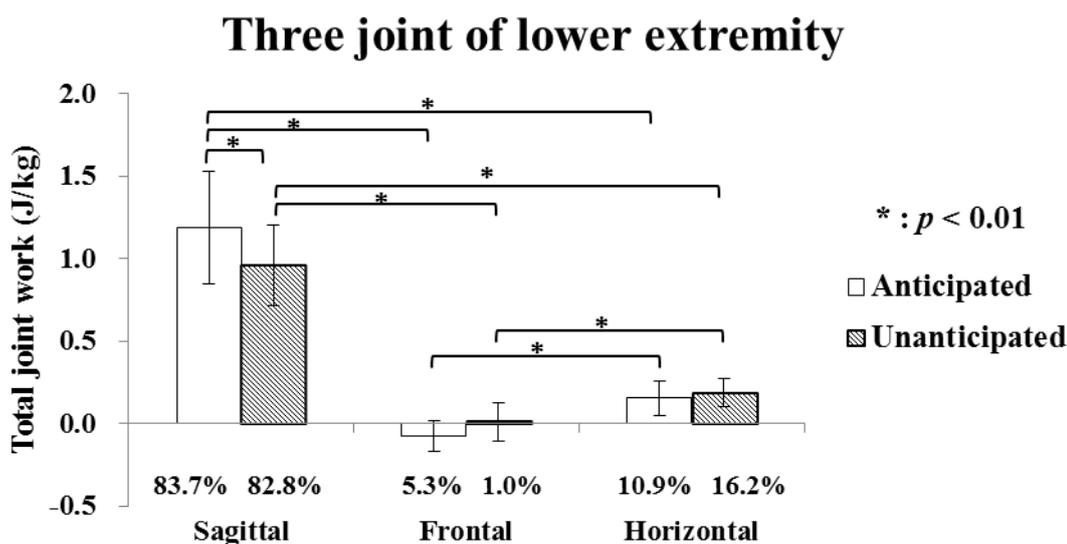


図 4.33 下肢三関節仕事量

既知条件の股関節の外転/内転における仕事は、伸展/屈曲・外旋/内旋における仕事と比較して、有意に低値であった。一方で、未知条件では、外旋/内旋における仕事が外転/内転における仕事と比較して、有意に高値であった（図4.34）。

膝関節では、両条件に共通して外反/内反・外旋/内旋における仕事と比較し、伸展/屈曲における仕事は有意に高値であった。しかし、条件間の伸展/屈曲における仕事に有意な差は認められなかった（図4.35）。

足関節では、両条件に共通して底屈/背屈における仕事が外反/内反・回外/回内における仕事と比較して有意に高値であった。また、底屈/背屈における仕事は、未知条件は既知条件と比較し、有意に低値であった（図4.36）。

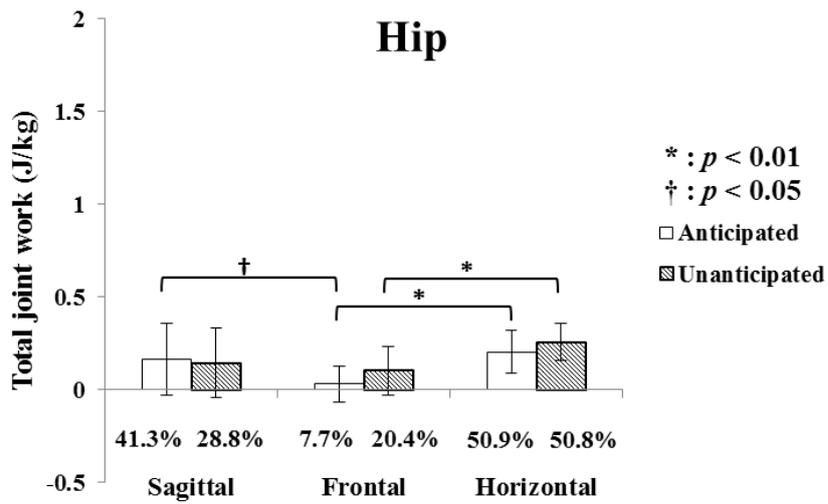


図 4.34 股関節仕事量

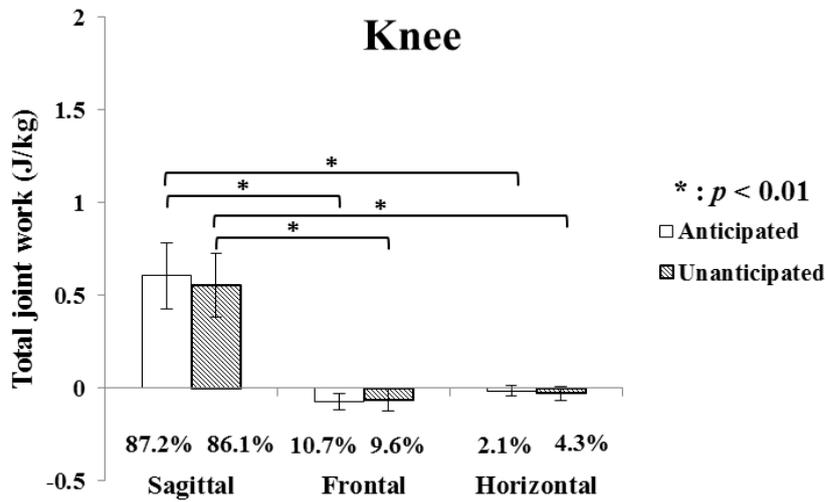


図 4.35 膝関節仕事量

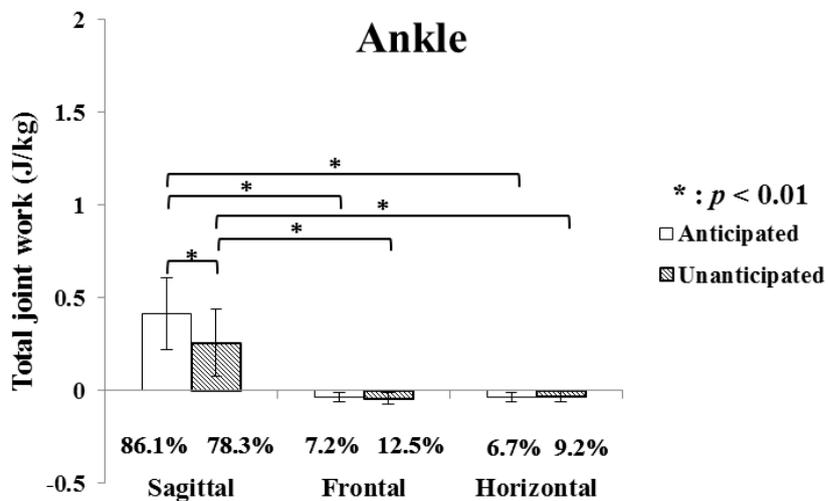


図 4.36 足関節仕事量

4.1.2 考察

本節では、被験者にとって最適動作で遂行できると考えられる既知条件と選択反応を伴う未知条件を比較し、生じるキネマティクス・キネティクスの差異からディフェンスを想定した非半身姿勢側の斜め後方への方向転換の速度生成のメカニズムを明らかにしようとした。本節では、次の3点が明らかとなった。(1) 非半身姿勢側の斜め後方への方向転換の速度生成は主に、下肢の伸展/屈曲における仕事によって達成されること、(2) 未知条件において、下肢の伸展/屈曲における関節仕事を増大させるためには、方向転換足の接地期後半に発揮される足関節の底屈/背屈パワーを高めることが重要であること、(3) 下肢の伸展/屈曲における関節仕事の増大には、新たな移動方向へ身体を向けることが重要であること。

既知条件は未知条件と比較して、方向転換足の接地期間中における身体重心スピード変化量に有意な差は認められなかったが、接地時間は有意に短かった(表 4.1)。そのため、既知条件は未知条件と比較して、方向転換足の接地期間中における身体重心スピード変化率は有意に大きかった(表 4.1)。この結果は、既知条件は未知条件と比較して、高いパフォーマンスを発揮していたことを示す。

既知条件と未知条件ともに、下肢の伸展/屈曲における関節仕事が、下肢全体でなされた関節仕事の80%以上を占めていた(図 4.33)。この結果は、非半身姿勢側の斜め後方への方向転換の速度生成は主に、下肢の伸展/屈曲における仕事によって達成されることを示している。また、Inaba et al. (In press)は、身体重心スピードを変化させるために異なる距離へのサイドステップを行った結果、距離が遠くなるにつれて下肢の伸展/屈曲における関節仕事が増大したと報告した。直線的なスプリントのような身体の正面への移動だけではなく、側方や斜め後方への移動についても、下肢の伸展/屈曲における関節仕事の増大が重要であるという点で、本研究と彼らの研究知見は一致し、この結果は本研究知見の妥当性を支持するものである。

未知条件は既知条件と比較して、下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量は小さかったが、股関節と膝関節の伸展/屈曲における関節仕事量に条件間で有意な差は認められなかった(図 4.34・図 4.35)。一方、未知条件は既知条件と比較して、足関節の底屈/背屈における関節仕事量は有意に低値であった(図 4.36)。また、接地期後半に発揮される正の足関節パワーの最高値は、未知条件は既知条件と比較して低値であった(図 4.30)。これらの結果より、未知条件において下肢の伸展/屈曲における関節仕事を増大させるためには、

方向転換足の接地期後半に発揮される足関節の底屈/背屈パワーを高めることが重要であると言える。

未知条件は既知条件と比較して、新たな移動方向に対する身体（上胴部・骨盤部・足部）の回旋角度が小さかった（表 4.2・図 4.2・4.4）。既知条件では予め新たな移動方向へ身体を回旋させながら方向転換をする。一方で、未知条件は光刺激装置の点灯に反応してから身体を回旋させ、方向転換を行う。未知条件では、光刺激装置の点灯から方向転換足の接地までの時間は 0.38 ± 0.04 秒しかなかった。そのため、方向転換動作を開始するまでの時間を十分に得ることができず、既知条件と比較して身体の回旋角度が小さくなったと考えられる。Fleischmann et al. (2010, 2011) は、足部を移動方向へ回旋させることで、矢状面の関節角度変位を増大させることができ、前額面の関節負荷を矢状面に移行することができることを明らかにした。関節仕事量が関節モーメントと角度の変位量の積から求まることを踏まえると、彼らの知見は、足部の移動方向への回旋が下肢の伸展/屈曲における関節仕事量の増大に寄与することを示すものである。すなわち、未知条件では新たな移動方向に対する身体の回旋角度が小さいため、下肢の伸展/屈曲における仕事をしにくい姿勢となり、関節仕事量が低下したと言える。この知見は、下肢の伸展/屈曲における仕事量増大には、新たな移動方向に対して身体を向ける角度を大きくすることが重要であることを示すものである。

本研究では、条件間で助走速度に有意な差が認められた。条件間で助走速度に有意な差が認められたこと、先行研究より、助走速度の違いが方向転換動作中の膝関節の屈曲角度や外反負荷の増大が引き起こされることが報告されている(Vanrenterghem et al., 2012)。彼らの知見は、助走速度は下肢のキネマティクス・キネティクスに影響を与えることを示す。そのため、本研究では条件間における助走速度の差により、下肢のキネマティクス・キネティクスに影響を及ぼした可能性が考えられる。

4.2 未知条件におけるパフォーマンスレベルによる動作の違いの検討

「4.1 既知条件と未知条件の動作の比較」では、条件間で生じるキネマティクス・キネティクスの差から、半身姿勢側へ行った後方への方向転換の速度生成のメカニズムを明らかにしようとした。本節では、明らかとした既知条件と未知条件の間に生じたキネマティクス・キネティクスの差が、未知条件内における被験者のパフォーマンスレベルの優劣によっても同様の見解が得られるかを検討し、実際の競技場面を想定した未知条件における後方への方向転換の速度生成のメカニズムを明らかにしようとした。

4.2.1 結果

上胸部・骨盤部・足部のセグメントの回旋角度と下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量の相関関係を検討したところ（表 4.3）、方向転換足が接地した瞬間における上胸部の回旋角度と下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量との間に有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.55, p < 0.01$)。また、骨盤部・足部の回旋角度と下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量の相関に有意傾向がみられた（骨盤部： $r = 0.43, p = 0.07$ ・足部： $r = 0.42, p = 0.08$ ）。さらに、方向転換足の離地する瞬間の上胸部・骨盤部のセグメントの回旋角度と下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量との間に有意な正の相関関係が認められた（上胸部： $r = 0.52, p < 0.05$ ・骨盤部： $r = 0.52, p < 0.05$ ）。また、上胸部・骨盤部・足部のセグメントの回旋角度と身体重心スピード変化量の相関関係を検討したところ、方向転換足が接地した瞬間における3つ全てのセグメントの回旋角度と身体重心スピード変化量との間に有意な正の相関関係が認められた（上胸部： $r = 0.66, p < 0.01$ ・骨盤部： $r = 0.57, p < 0.01$ ・足部： $r = 0.50, p < 0.05$ ）。さらに、方向転換足の離地する瞬間の上胸部・骨盤部のセグメントの回旋角度と身体重心スピード変化量との間に有意な正の相関関係が認められた（上胸部： $r = 0.81, p < 0.01$ ・骨盤部： $r = 0.74, p < 0.01$ ）。また、方向転換足の離地する瞬間の足部のセグメントの回旋角度と身体重心スピード変化量の相関に有意傾向がみられた ($r = 0.40, p = 0.09$)。

表 4.3 セグメントの回旋角度と下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量の相関係数

	Upper trunk		Pelvis		Foot	
	Foot contact	Foot off	Foot contact	Foot off	Foot contact	Foot off
Joint work (Ext/Flex)	0.55*	0.53†	0.43(n.s.)	0.52†	0.42(n.s.)	0.25(n.s.)
COM speed variation	0.66*	0.81*	0.57*	0.74*	0.50†	0.40(n.s.)

* Significant at $p < 0.01$ level. † Significant at $p < 0.05$ level.

未知条件と既知条件の両条件に共通して、下肢三関節の伸展/屈曲における関節仕事量と方向転換足の接地期間中における身体重心スピード変化量との間に有意な相関関係が認められた (図 4.37)。

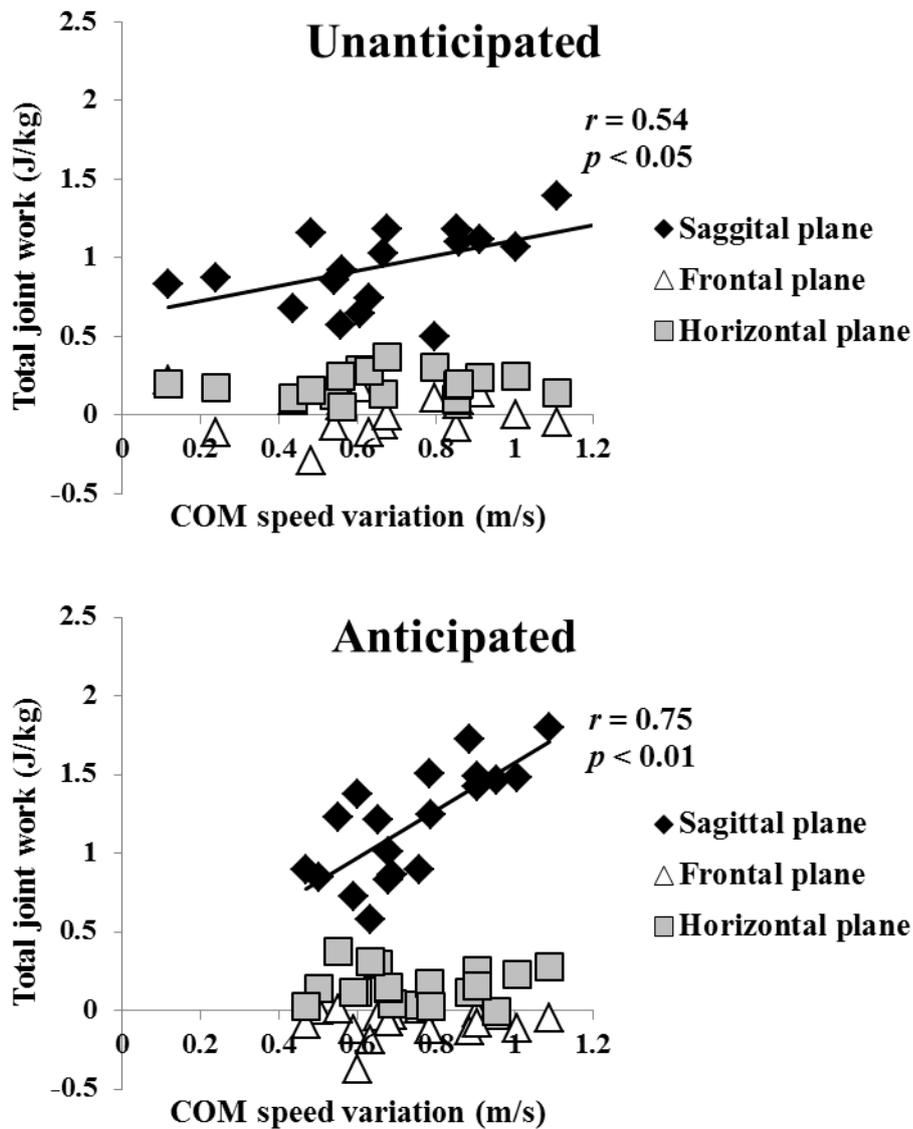


図 4.37 関節仕事量と身体重心スピード変化量の相関関係

全被験者の平均値データは、方向転換足の接地期前半では上胴部よりも骨盤部を先行させることによって、体幹部の捻転角度が生じていたが、その後は、骨盤部よりも上胴部を先行させることによって、体幹部を捻転していた（図 4.38）。身体重心スピード変化量が大きかった被験者の試行平均値データ（n=1）は、接地時から骨盤部よりも上胴部を先行させることにより体幹部を捻転していた（図 4.38）。身体重心スピード変化量が小さかった被験者の試行平均値データ（n=1）は、上胴部よりも骨盤部を先行させることにより体幹部を捻転していた（図 4.38）。

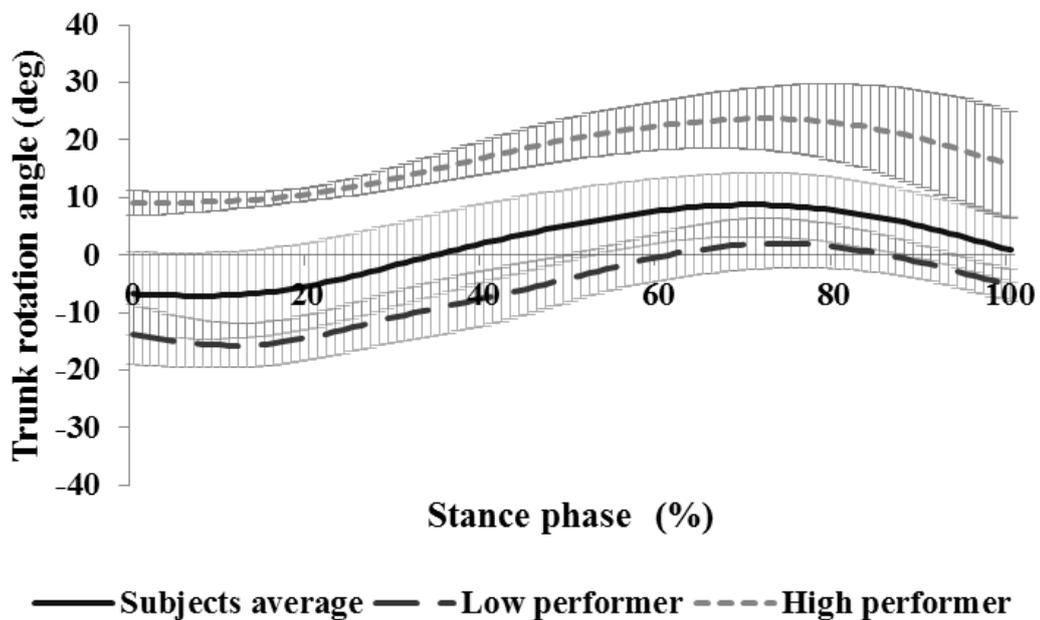


図 4.38 体幹捻転角度

※ 正の値は、骨盤部よりも上胴部が先行して新たな移動方向へ回旋することにより生じる体幹部捻転角度を示す。一方で、負の値は、上胴部よりも骨盤部が先行して新たな移動方向へ回旋することにより生じる体幹部捻転角度を示す。

骨盤部よりも上胸部を先行させることによって生じる体幹部捻転角度の最大角度と身体重心スピード変化量との間に、有意な相関関係が認められた（図 4.39）。

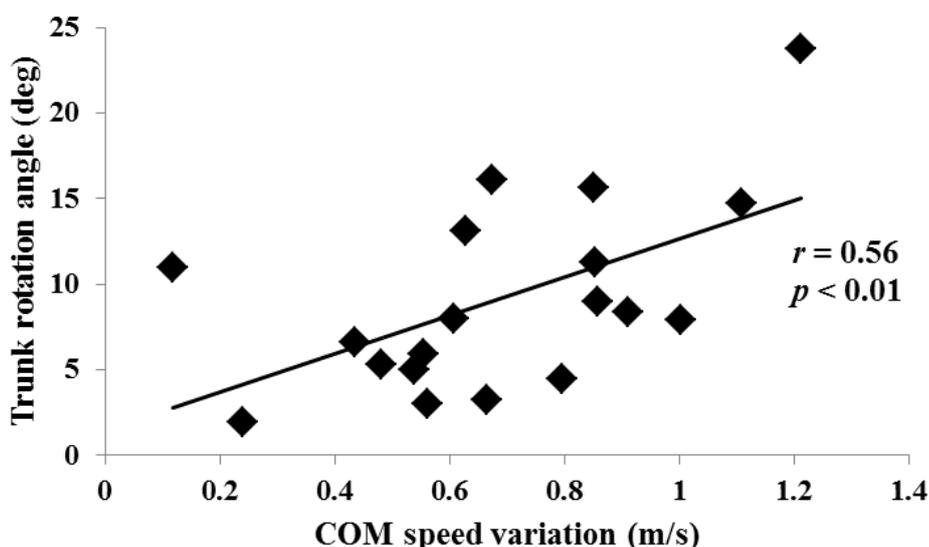


図 4.39 体幹捻転角度（最大）と身体重心スピード変化量の相関関係

※ 骨盤部よりも上胸部が先行して新たな移動方向へ回旋することにより生じる体幹部の最大捻転角度と身体重心スピード変化量の相関関係を示す。

4.2.2 考察

本節では、既知条件と未知条件の間に生じたキネマティクス・キネティクスの差が、未知条件内における被験者のパフォーマンスレベルの優劣によっても同様の見解が得られるか否かを、相関分析を用いて検討した。そして、サッカーの1対1のディフェンスの局面で見られる、オフENSEの選手の動きに反応して非半身姿勢側の斜め後方へ方向転換を行う場面を想定した、未知条件における後方への方向転換の速度生成のメカニズムを明らかにしようとした。本節では、次の4点が明らかとなった。(1)未知条件における半身姿勢側の斜め後方への方向転換の速度生成には、下肢の伸展/屈曲における関節仕事量の増大が重要であること、(2)未知条件において、下肢の外旋/内旋における力発揮は速度生成のためではなく、上胸部と骨盤部の回旋の反作用に拮抗するなど姿勢調節の役割を果たすこと、(3)身体を大きく加速させるためには、方向転換足の接地時に新たな移動方向へ身体を向けること、さらに、接地期間中に新たな移動方向へ上胸部と骨盤部を向けることで下肢の伸展/屈曲における力発揮を高めることが重要であること、(4)上胸部から身体を回旋し体幹部を大きく捻転させることで、身体を大きく加速させることが出来ること。

下肢三関節における伸展/屈曲における関節仕事量は、外転（外反）/内転（内反）・外旋（回外）/内旋（回内）における関節仕事量と比較して有意に大きいのみならず、方向転換動作中の身体重心スピード変化量との間に有意な相関関係が認められた（図 4.37）。したがって、非半身姿勢側の斜め後方への方向転換の速度を向上するためには、下肢の伸展/屈曲における力発揮を高めることが重要であると言える。

未知条件において、股関節の外旋/内旋における関節仕事量は、股関節全体でなされた仕事の 50%以上を占めていた。股関節の外旋/内旋における関節仕事量は、方向転換足の接地期後半までにおける外旋の仕事によって主に得られていた（図 4.8・図 4.17・図 4.26）。未知条件では方向転換足の接地時点における身体の回旋角度が小さいため（表 4.2・図 4.2-4）、接地中に身体を新たな移動方向へ大きく回旋する必要がある。股関節の外旋/内旋モーメントは、股関節を外旋/内旋させる役割以外にも、足が地面に接触している場合は上体を回旋させる役割を果たす。斜め後方への方向転換では、股関節の外旋モーメントによって上胸部と骨盤部を新たな移動方向へ回旋させる役割を担っていると考えられる。一方、下肢の外旋/内旋における関節仕事量と身体重心スピード変化量の間には相関関係は認められなかった（図 4.37）。これらの結果は、下肢の外旋/内旋における力発揮は速度生成のためではなく、新たな移動方向へ上胸部と骨盤部を回旋させるために貢献していることを示す。

新たな移動方向に対する身体（上胸部・骨盤部・足部）の回旋角度では、方向転換足が接地した瞬間の上胸部の回旋角度と下肢の伸展/屈曲における関節仕事量との間に有意な相関関係が認められた（表 4.3）。また、骨盤部と足部の回旋角度と下肢の伸展/屈曲における関節仕事量との間に相関に有意傾向が見られた。さらに、接地した瞬間の身体の回旋角度と身体重心スピード変化量との間に有意な相関関係が認められた（表 4.3）。これらの結果は、方向転換足の接地時に、身体を新たな移動方向へ上胸部と骨盤部を向けることで下肢の伸展/屈曲における力発揮を高めることができ、その結果、身体を大きく加速させることが出来ることを示す。

身体重心スピード変化量が大きかった被験者は、接地時から骨盤部よりも上胸部を先行させることにより体幹部を捻転していた（図 4.38）。一方、身体重心スピード変化量が小さかった被験者は、上胸部よりも骨盤部を先行させることにより体幹部を捻転していた（図 4.38）。また、骨盤部より上胸部を先行させて新たな移動方向へ回旋させることにより生じる体幹部の捻転角度の最大角度と身体重心スピード変化量に有意な相関関係が認められた

(図 4.39)。これらの結果は、上胸部から身体を回旋し体幹部を大きく捻転させることで、身体を大きく加速させることが出来ることを示す。

第5章 総合討論

本研究の目的は、サッカーの1対1におけるディフェンスを想定した斜め後方への方向転換動作の、パフォーマンスの技術的要因をキネマティクス・キネティクスの観点から検討し、速度生成のメカニズムを明らかにすることであった。第3章では、対峙するオフENSEの選手に半身姿勢側へ進入された場面を想定し、そのディフェンス局面で見られる半身姿勢側 (Dominant leg side) への方向転換の速度生成のメカニズムを検討した。第4章では、対峙するオフENSEの選手に半身姿勢側とは反対側の背後の方向 (非半身姿勢側) へ進入された場面を想定し、そのディフェンス局面で見られる非半身姿勢側

(Non-dominant leg side) への方向転換の速度生成のメカニズムを検討した。本章では、第3章と第4章から得られた知見を統括し、オフENSEの選手の動きに反応するといった実際の競技場面を想定した未知条件において、素早く斜め後方への方向転換をするための技術的要因を示す。

半身姿勢側への方向転換と非半身姿勢側への方向転換の速度生成のメカニズムにおける共通した知見は、次の2点である。(1) 速度生成には、下肢の伸展/屈曲における関節仕事量の増大が重要であること、(2) 下肢の伸展/屈曲における関節仕事量の増大には、新たな移動方向へ身体を向けることが重要であること。

非半身姿勢側への方向転換は、半身姿勢側への方向転換と比較して、身体重心スピード変化量に有意な差は認められなかったが、接地時間は有意に長かった (表 5.1)。そのため、身体重心スピード変化率は、半身姿勢側への方向転換の方が有意に大きかった (表 5.1)。この結果は、半身姿勢側への方向転換の方が素早く斜め後方へ方向転換が出来ていたことを示す。

表 5.1 身体重心スピード変化量・接地時間・身体重心スピード変化率

COM speed variation (m/s)		Contact time (sec)		Rate of COM speed change (m/s ²)	
Dominant leg side	Non-dominant leg side	Dominant leg side	Non-dominant leg side	Dominant leg side	Non-dominant leg side
0.68 ± 0.13	0.69 ± 0.27	0.19 ± 0.03	0.27 ± 0.04 *	3.61 ± 1.01	2.61 ± 1.09 *

* significant difference between dominant leg side and non-dominant leg side ($p < 0.01$). ※ Two sample t-test

半身姿勢側への方向転換と非半身姿勢側への方向転換における主な動作の違いとして、身体の回旋角度が挙げられる。非半身姿勢側への方向転換は、半身姿勢側への方向転換と

比較して、方向転換足が接地した瞬間における新たな移動方向に対する身体の回旋角度（上
 胴部・骨盤部・足部）が有意に小さかった（表 5.2）。そのため、接地期間中に身体を大き
 く回旋させていた（図 5.1）。

表 5.2 セグメントの回旋角度

	Dominant leg side		Non-dominant leg side	
	Foot contact	Foot off	Foot contact	Foot off
Upper trunk	-15.2 ± 19.9	64.5 ± 16.7	-34.3 ± 19.9 *	56.2 ± 20.0 *
Pelvis	-5.5 ± 18.2	68.6 ± 11.0	-19.5 ± 16.6 *	61.2 ± 13.5 *
Foot	-7.5 ± 17.6	23.3 ± 14.4	-22.9 ± 16.6 *	20.2 ± 16.1 *

* significant difference between dominant leg side and non-dominant leg side
 (p < 0.01). ※ Two sample t-test

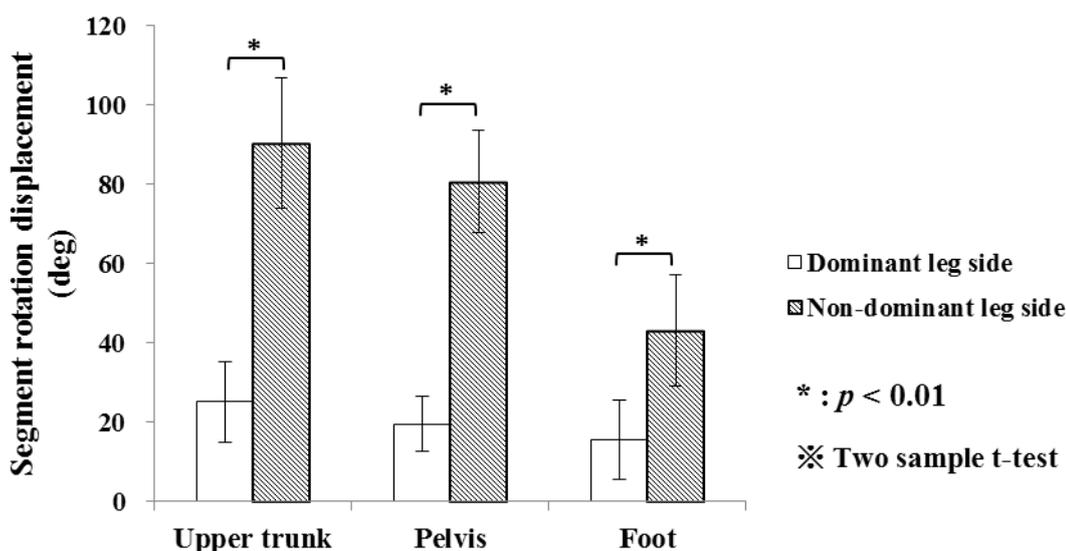


図 5.1 セグメントの回旋変位角度

半身姿勢側への方向転換と非半身姿勢側への方向転換の速度生成はともに、下肢の伸展/
 屈曲における仕事によって達成する。下肢の伸展/屈曲における関節仕事を増大させるた
 めには、新たな移動方向へ身体を向けることが重要である。非半身姿勢側への方向転換は、
 半身姿勢側への方向転換と比較して、身体の回旋角度が小さいにもかかわらず、下肢三関
 節における関節仕事量に有意な差は認められなかった（図 5.2）。非半身姿勢側への方向転
 換は、半身姿勢側への方向転換と比較して、方向転換足の接地期間中に身体を新たな移動
 方向へ大きく回旋させる必要があるため、接地時間が長くなったと考えられる。そのため、

身体の回旋角度に有意な差があるにもかかわらず、下肢三関節における関節仕事量に有意な差が生じなかったと考えられる。一方、半身姿勢側への方向転換では、新たな移動方向に身体を向けた姿勢で方向転換動作を遂行していたため、短い接地時間で下肢の伸展/屈曲における仕事をすることができた。したがって、身体を予め新たな移動方向に向けた姿勢で方向転換をすることで、短い接地時間で下肢の伸展/屈曲における関節仕事量を高めることができること示唆された。

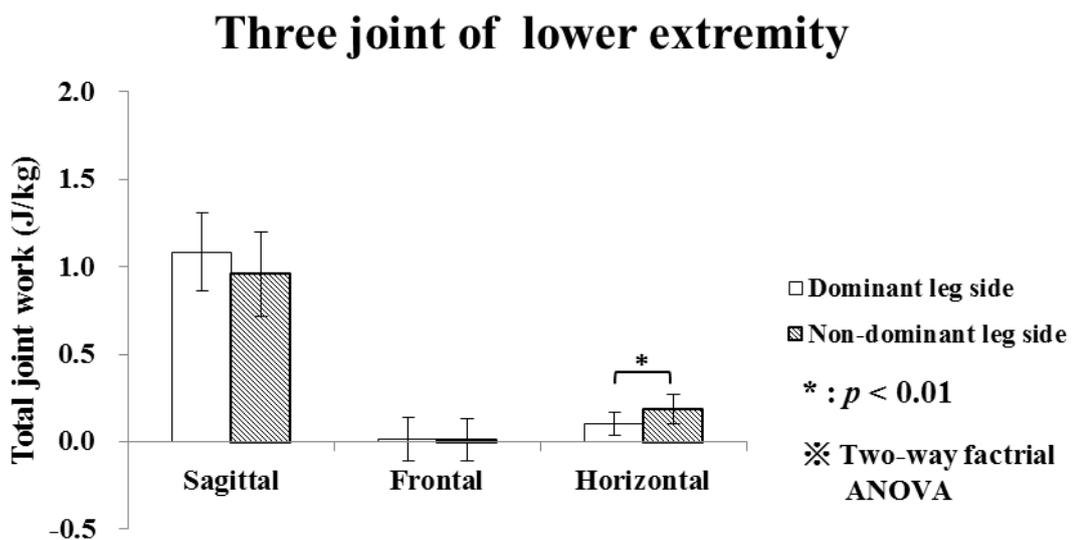


図 5.2 下肢三関節仕事量

上述のことから、素早く斜め後方へ方向転換をするためには、新たな移動方向に身体を向けた姿勢で、短い接地時間で大きな下肢の伸展/屈曲における仕事を必要があると言える。

第6章 結論

本研究の目的は、サッカーの1対1におけるディフェンスを想定した斜め後方への方向転換動作の、パフォーマンスの技術的要因をキネマティクス・キネティクスの観点から検討し、速度生成のメカニズムを明らかにすることであった。本研究により、明らかとなった事象は以下に記す通りである。

- 1) 斜め後方への方向転換の速度生成には、下肢の伸展/屈曲における関節仕事量の増大が重要であること。
- 2) 下肢の伸展/屈曲における関節仕事量の増大には、新たな移動方向へ身体を向けることが重要であること。
- 3) 短い接地時間で下肢の伸展/屈曲における関節仕事量を高めるためには、新たな移動方向へ身体を向けることが重要であること。

上述の事象から、半身姿勢側・非半身姿勢側のいずれの方向においても、後方への方向転換の速度生成は、下肢の伸展/屈曲における力発揮によって達成されることが示唆された。また、身体を新たな移動方向へ向けることで、短い接地時間で下肢の伸展/屈曲における力発揮を高めることができ、その結果、素早く斜め後方へ方向転換が出来ることが明らかとなった。

文献

1. Besier, T. F., Lloyd, D. G., Ackland, T. R., & Cochrane, J. L. (2001a). Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. *MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE*, *33*, 1176-1181.
2. Besier, T. F., Lloyd, D.G., Cochrane, J. L., & Ackland, T. R. (2001b). External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers. *MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE*, *33*, 1168-1175.
3. Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, *6*, 63-70.
4. Boone, D. C. & Azen, S. P. (1979). Normal range of motion of joints in male subjects. *Journal of Bone and Joint Surgery*, *61*, 756-759.
5. Bradshaw, R. J., Young, W. B., Russell, A., & Burge, P. (2011). Comparison of offensive agility techniques in Australian Rules football. *Journal of Science and Medicine in sport*, *14* 65-9.
6. Cortes, N., Blount, E., Ringleb, S., Onate, J. A. (2011a). Soccer-specific video simulation for improving movement assessment. *Sports Biomechanics*, *10*, 22-34.
7. Cortes, N., Onate, J., & Lunen B. V. (2011b). Pivot task increases knee frontal plane loading compared with sidestep and drop-jump. *Journal of Sports Sciences*, *29*, 83-92.
8. Davis, R. B., Ounpuu, S., Tyburski, D., & Gage, J. R. (1991). A gait analysis data collection and reduction technique. *Human Movement Science*, *10*, 575-587.
9. Dempsey, A. R., Lloyd, D. G., Elliott, B. C., Steele, J. R., & Munro, B. J. (2009). Changing sidestep cutting technique reduces knee valgus loading. *American Journal of Sports Medicine*, *37*, 2194-200.
10. Dempster, W. T. (1955). Space requirements of the seated operator. WADC-TR-55-159, Wright Patterson Air Force Base.
11. Farrow, D., Young, W., & Bruce, L. (2005). The development of a test of reactive agility for netball: a new methodology. *Journal of Science and Medicine in sport*, *8*,

52-60.

12. Fleischmann, J., Gehring, D., Mornieux, G., & Gollhofer, A. (2010). Load-dependent movement regulation of lateral stretch shortening cycle jumps. *European Journal of Applied Physiology*, *110*, 177-87.
13. Fleischmann, J., Gehring, D., Mornieux, G., & Gollhofer, A. (2011). Task-specific initial impact phase adjustments in lateral jumps and lateral landings. *European Journal of Applied Physiology*, *111*, 2327-37.
14. Gabbett, T. J., Kelly, J. N., & Sheppard, J. M. (2008). Speed, change of direction speed, and reactive agility of rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*, 174-181.
15. Green, B. S., Blake, C., & Caulfield, B. M. (2011a). A comparison of cutting technique performance in rugby union players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*, 2668-80.
16. Green, B. S., Blake, C., & Caulfield, B. M. (2011b). A valid field test protocol of linear speed and agility in rugby union. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*, 1256-62.
17. Greig, M. (2009). The influence of soccer-specific activity on the kinematics of an agility sprint. *European Journal of Sport Science*, *9*, 23-33.
18. Grood, E. S., & Suntay, W. J. (1983). A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: Application to the knee. *Journal of Biomechanical Engineering*, *105*, 136-144.
19. Helsen, W. F., & Starkes, J. L. (1999). A multidimensional approach to skilled perception and performance in sport. *Applied Cognitive Psychology* *13*, 1-27.
20. Houck, J. R., Duncan, A., & De Haven, K. E. (2006). Comparison of frontal plane trunk kinematics and hip and knee moments during anticipated and unanticipated walking and side step cutting tasks. *Gait & Posture*, *24*, 314-22.
21. Imwalle, L. E., Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2009). Relationship between hip and knee kinematics in athletic women during cutting maneuvers: a possible link to noncontact anterior cruciate ligament injury and prevention. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*, 2223-2230.

22. Inaba, Y., Yoshioka, S., Iida, Y., Hay, D. C., & Fukashiro, S. (2012). A biomechanical study of side steps at different distances. *Journal of Applied Biomechanics*,
23. Jamison, S. T., Pan, X., & Chaudhari, A. M. (2012). Knee moments during run-to-cut maneuvers are associated with lateral trunk positioning. *Journal of Biomechanics*, *45*, 1881-1885.
24. Jones, P., Bampouras, T. M., & Marrin, K. (2009). An investigation into the physical determinants of change of direction speed. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *49*, 97-104.
25. Landry, S. C., McKean, K. A., Hubley-Kozey, C. L, Stanish, W. D., & Deluzio, K. J. (2007). Neuromuscular and lower limb biomechanical differences exist between male and female elite adolescent soccer players during an unanticipated side-cut maneuver. *The American journal of sports medicine*, *35*, 1888-1900.
26. Little, T., & Williams, A. G. (2005). Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *19*, 76-78.
27. Lucci, S., Cortes, N., Lunen, B. V., Ringleb, S., & Onate, J. (2011). Knee and hip sagittal and transverse plane changes after two fatigue protocols. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *14*, 453-459.
28. McLean, S. G., & Samorezov, J. E. (2009). Fatigue-induced ACL injury risk stems from a degradation in central control. *MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE*, *41*, 1661-1672.
29. McLean, S. G., Huang, X., & van den Bogert, A. J. (2005). Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping: implications for ACL injury. *Clinical Biomechanics*, *20*, 863-70.
30. Nagano, Y., Ida H., Akai, M., & Fukubayashi, T. (2011). Relationship between three-dimensional kinematics of knee and trunk motion during shuttle run cutting. *Journal of Sports Science*, *29*, 1525-34.
31. Neptune, R. R., Wright, L. C., & van den Borgert, A. J. (1999). Muscle coordination and function during cutting movements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*,

- 31, 294-302.
32. O'Connor, K., M., Monteiro S. K., & Hoelker, I. A. (2009). Comparison of selected lateral cutting activities used to assess ACL injury risk. *Journal of Applied Biomechanics*, *25*, 9-21.
33. Oliver, J. L., & Meyers, R. W. (2009). Reliability and generality of measures of acceleration, planned agility, and reactive agility. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *4*, 345-354.
34. Pollard, C. D., Davis, I. M., & Hamill, J. (2004). Influence of gender on hip and knee mechanics during a randomly cued cutting maneuver. *Clinical Biomechanics*, *19*, 1022-31.
35. Salaja, S., & Markovic, G. (2011). Specificity of jumping sprinting, and quick change-of-direction motor abilities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*, 1249-1255.
36. Sasaki, S., Nagano, Y., Kaneko, S., Sakurai, T., & Fukubayashi, T. (2011). The relationship between performance and trunk movement during change of direction. *Journal of Sports Science and Medicine*, *10*, 112-18.
37. Serpell, B. G., Ford, M., & Young, W. B. (2010). The development of a new test of agility for rugby league. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*, 3270-7.
38. Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, *24*, 919-932.
39. Sheppard, J. M., Young, W. B., Doyle, T. L., Sheppard, T. A., & Newton, R. U. (2006). An evaluation of a new test of reactive agility and its relationship to sprint speed and change of direction speed. *Journal of Science and Medicine in sport*, *9*, 342-9.
40. Sigward, S. M., Pollard, C. D., Havens, K. L., & Powers, C. M. (2012). Influence of sex and maturation on knee mechanics during side-step cutting. *MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE*, *44*, 1497-503.
41. Vanrenterghem, J., Venables, E., Pataky, T., Robinson, M. A. (2012). The effect of running speed on knee mechanical loading in females during side cutting. *Journal*

- of Biomechanics*, 21, 45, 2444-9.
42. Ward, P., & Williams, A. M. (2003). Perceptual and cognitive skill development in soccer: The multidimensional nature of expert performance. *Journal of Sport Exercise Psychology*, 25, 93-111.
 43. Wheeler, K. W., & Sayers, M. G. L. (2011). Rugby union contact skills alter evasive agility performance during attacking ball carries. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 6, 3, 419-32.
 44. Winter, D. A. (2009). Biomechanics and motor control of human movement. *Wiley*.
 45. Young, W. B., James, R., & Montgomery, I. (2002). Is muscle power related to running speed with changes of direction?. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42, 282-288.
 46. Young, W. B., McDowell, M. H., & Scarlett, B. J. (2001). Specificity of Sprint and Agility Training Methods. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15, 315-319.
 47. Young, W., Farrow, D., Pyne, D., McGregor, W., & Handke, T. (2011). Validity and reliability of agility tests in junior Australian football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 3399-403.
 48. 財団法人日本サッカー協会 技術委員会. (2004). JFA 2004 U-16 指導指針. 財団法人日本サッカー協会, 26-51.

謝辞

本研究を遂行し修士論文を作成するにあたり、多くのご支援とご指導を賜りました、指導教員である伊坂忠夫教授に感謝の意を表します。また、修士論文のみならず、研究計画・実験・データの算出・データ分析・学会発表の資料作成に至るまで、本研究における全てにおいて丁寧かつ熱心なご指導を賜りました、吉岡伸助教に心から感謝致します。

さらには、ご多忙にも関わらず実験のご理解を頂き快く被験者を引き受けて下さった立命館大学体育会サッカー部の選手の皆様ならびに、仲井昇監督、松岡耕自コーチ、田口厚志トレーナー、日々の研究活動や事務処理などにおいて多くのお世話を頂いた秘書の奥村悦子氏、実験に協力して下さった伊坂研究室の皆様、多くのご助言を頂きましたスポーツ健康科学部の教員の皆様に厚く御礼申し上げます。