

2016年度 修士論文

成熟度を考慮した成長期サッカー選手の
方向転換能力に関する研究

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 スポーツ医科学研究領域

5015A029-4

中村 隼人

研究指導教員： 広瀬 統一 教授

目次

1. 緒言	1
1-1 方向転換能力とサッカーとの関係	1
1-2 方向転換能力の決定要素とその関係	2
1-2-I 方向転換能力と直線スプリントとの関係	3
1-2-II 方向転換能力と反応筋力との関係	3
1-2-III 方向転換能力とパワーとの関係	4
1-2-IV 方向転換能力と筋力との関係	5
1-2-V 方向転換能力とテクニックとの関係	6
1-3 方向転換能力の発達	7
1-4 目的及び仮説	10
2. 研究1：成長期サッカー選手の方向転換能力の技術的分析	12
2-1 目的	12
2-2 方法	14
2-2-I 対象	14
2-2-II 測定項目	14
2-2-III 統計	21
2-3 結果	23
2-4 考察	39
3. 研究2：成長期サッカー選手の方向転換能力発達要因の検討	44
3-1 目的	44
3-2 方法	46
3-2-I 対象	46
3-2-II 測定項目	48

3-2-III	統計	49
3-3	結果	51
3-3-I	身体的測定項目	51
3-3-II	重回帰分析及び相関分析	55
3-4	考察	59
3-4-I	5m×2 について	59
3-4-II	Pre 群の方向転換能力発達要因	60
3-4-III	Mid 群の方向転換能力発達要因	61
3-4-IV	Post 群の方向転換能力と体力因子の関係	64
3-4-V	研究の限界	66
4	総合考察	67
4-1	スポーツ現場への応用について	68
5	結語	72
6	参考文献	73
	謝辞	80

1. 緒言

サッカーは世界で最も人気のあるスポーツの一つであり、その競技人口は 2006 年現在でおよそ 2 億 6500 万人とされている (FIFA Big Count 2006)。サッカー競技において、方向転換動作は多くの局面で必要とされる動作であり、競技力の高い選手は高い方向転換能力を有していたことが報告されている (Gravina et al., 2008, Kaplan et al., 2009, Mirkov et al., 2010)。このことから、方向転換能力はサッカーの競技力に影響する重要な要素であることが言える。この方向転換能力の決定要素には体力要素に加え技術要素が存在し、体力要素との関係性については多くの研究がなされている (Barnes et al., 2007, Jones et al., 2009, Little and Williams, 2005, Negrete and Brophy, 2000, Sporis et al., 2011, Vescovi and McGuigan, 2008, Yanchi et al., 2014., Young et al., 2002) 一方で、技術要素と方向転換能力との関係性について検討したものは少ない (Havens and Sigward, 2015, Sasaki et al., 2011, Shimokochi et al., 2013)。また、方向転換能力は成長期において大きく発達することが明らかとなっているが (Condello et al., 2013, Hirose and Seki, 2015, Phillipaerts et al., 2005)、その発達がどの要素によって起こるものなのか、詳細な検討はなされていない。そこで本研究では成長期サッカー選手を対象に、方向転換能力及びその発達について技術要素の面から検討し、成長期における適切なフィジカルトレーニング考案の一助とすることを目的とした。

1-1 方向転換能力とサッカーとの関係

サッカー競技は前方への直線的な動きだけでなく、横、後方、あるいは斜め方向への動きや曲線走、さらには急停止や急加速、走っている途

中での方向転換など、様々な動作がランダムに行われるのが特徴である。中でも方向転換動作は 1 対 1 の局面やマークを振り切る局面など多くの局面で必要となる動作であり、Bloomfield et al.(2007)はサッカーにおいて 1 試合中におよそ 700 回の方向転換動作が行われていたことを報告している。また、プロ選手はアマチュア選手よりも優れた方向転換能力を有していることが報告されており(Kaplan et al., 2009)、サッカーの競技力と方向転換能力との関係性が示されている。上記の対象は成人の選手であるが、成長期においても同様であり、Gravina et al.(2008)は 10～14 歳のサッカー選手においてファーストチームの選手の方がリザーブチームの選手よりも優れた方向転換能力を有していたことを報告している。さらに、方向転換能力は 11 歳～14 歳におけるエリートサッカー選手の特性の一つであるという報告や(Mirkov et al., 2010)、育成年代においてジュニアユースからユース、ユースからプロへと上位カテゴリーへと昇格した選手は昇格できなかった選手と比較して高い方向転換能力を有していたという報告もされている(津越と浅井, 2010)。このように方向転換能力は成人においても成長期においてもサッカーの競技力に影響する重要な要素の一つであることが言える。

1-2 方向転換能力の決定要素とその関係

方向転換能力の決定要素について、Young et al.(2002)は直線スピード、脚筋群の特性、テクニックの 3 つを挙げている。脚筋群の特性には筋力、パワー、反応筋力の 3 項目が含まれ、テクニックは身体の傾きと姿勢、加速と減速のためのストライド調整、足の位置といった 3 項目が含まれている。

1-2-I 方向転換能力と直線スプリントとの関係

方向転換能力と直線スプリントとの関係については多くの研究がなされており、両者の間にはほとんどの研究において中程度以上の有意な正の相関が認められている(Jones et al., 2009, Little and Williams, 2005, Sporis et al., 2011, Vescovi and McGuigan, 2008)。その中でも 505 テスト(10m の助走からの 5m 往復走)とフライング 5m スプリント(25m 走の最後 5m のスプリントタイム)との間(Jones et al., 2009.: $r=0.78$, $p<0.05$)や 9.2m のフロアジリティテストと 18.3m スプリントとの間(Vesovi and McGuigan, 2008.: $r=0.65$, $p<0.05$)には高い相関関係が報告されている。また、成長期においても 100° の方向転換を伴うジグザグ走と 10m スプリントタイムとの間には有意な相関が見られなかった一方で、30m スプリント($r=0.56$, $p<0.05$)及びフライング 20m スプリント($r=0.68$, $p<0.05$)との間には有意な相関関係が見られている(Sporis et al., 2011)。これらのことから、加速能力を評価する短い距離のスプリントタイムよりもより長い距離あるいは加速後のトップスピード局面でのスプリントタイムが方向転換能力に関係していることが示唆され、方向転換における再加速と直線走における加速では必要とされる能力が異なる可能性が推察される。また、よりトップスピードを評価するようなスプリント測定との間に高い相関関係が見られたことから、方向転換を行う直前までのスピードや方向転換を行ってから次の方向転換までのスピードが影響する可能性が推察される。

1-2-II 方向転換能力と反応筋力との関係

反応筋力、いわゆるプライオメトリクス能力の評価方法としてはデブスジャンプが多くの研究において用いられている。 60° の方向転換を伴

うジグザグ走に対してはデプスジャンプとの間に有意な中程度の相関関係($r=-0.54$, $p<0.05$)があることが報告されている(Young et al., 2002)が、 180° の方向転換を伴う方向転換テストに対しては有意な相関関係が見られていない(Barnes et al., 2007, Jones et al., 2009)。これに関しては接地時間の違いが理由として考えられている(Jones et al., 2009)。 180° の方向転換動作時における方向転換脚の接地時間はおよそ0.40秒(Barnes et al., 2007, Sasaki et al., 2011)と報告されている一方、デプスジャンプの接地時間はおよそ0.27秒(Jones et al., 2009)であったことが報告されており、この接地時間の違いが結果に影響した可能性が示唆される。一方、より浅い角度、すなわち鈍角な方向への方向転換においては減速の必要性が低くなる(Havens and Sigward, 2015)ことから接地時間が短くなることが考えられ、デプスジャンプの接地時間と類似したことで有意な相関関係が示されたことが考えられる。以上のことから、反応筋力は鈍角な方向転換に対してより影響することが推察される。

1-2-III 方向転換能力とパワーとの関係

パワーの評価指標として最も多く用いられているのは垂直跳びである。先行研究において、垂直跳びと方向転換走との間には有意な相関関係が示されており(Barnes et al., 2007, Jones et al., 2009, Yanchi et al., 2014)、下肢のパワーが方向転換能力に影響することが示されている。また、パワーの指標として、水平方向への立ち幅跳び(Yanchi et al., 2014)や立ち五段跳び(Hirose and Seki, 2015, Hirose and Nakahori, 2015)が用いられている研究もあり、こちらも有意な相関関係が認められている。Yanchi et al.(2014)は男子プロサッカー選手を対象にプロアジリティテストと垂直跳び及び立ち幅跳びの関係性について検討したと

ころ垂直跳び($r=-0.47$, $p<0.05$)の方が立ち幅跳び($r=-0.38$, $p<0.05$)よりもやや高い負の相関関係を示したことを報告している。一方、Peterson et al.(2006)は大学生を対象に T テストと垂直跳び及び立ち幅跳びとの関係性について検討したところ、立ち幅跳び($r=-0.90$, $p<0.05$)の方が垂直跳び($r=-0.86$, $p<0.05$)よりもやや高い負の相関関係を示したことを報告しており、運動方向について未だ統一した見解はなされていない。また、これらのパワーが方向転換能力にどのように影響しているかについて詳細な検討はなされていない。

1-2-IV 方向転換能力と筋力との関係

他の体力要素と比較して、筋力に関する研究は少ないのが現状である。筋力の評価方法としては等速性筋力(Jones et al., 2014, Negrete and Brophy, 2000)、レッグプレス(Jones et al., 2014, Negrete and Brophy, 2000)、等尺性筋力(Barnes et al., 2007)などがある。Jones et al.(2014)は男子大学生を対象に 505 テストと膝関節等速性筋力及びレッグプレスとの関係について検討したところ、どの項目についても有意な負の相関関係を認めている($r=-0.45\sim-0.59$, $p<0.05$)。特に膝関節屈曲遠心性筋力との間に最も高い相関が認められ($r=-0.59$, $p<0.05$)、ステップワイズ法による 505 テストの説明変数としても採用されたことを報告している。一方で筋力との有意な相関が見られなかったという報告(Barnes et al., 2007)もあり、統一した見解が得られていないのが現状である。また、これらは成人を対象にしたものであり、成長期に関する情報も不足している。

1-2-V 方向転換能力とテクニックとの関係

方向転換のテクニックすなわち技術要素に関する研究もいくつか行われている。Sasaki et al.(2011)は男子大学生サッカー選手を対象に 5m の往復走を用いて方向転換能力を評価し、体幹の前方及び側方傾斜角度について繰り返し脚の接地時、最大体幹傾斜角度時、離地時の 3 局面及び接地～最大傾斜角度時、最大傾斜角度時～離地時の 2 区間で検討したところ、接地～最大傾斜角度時の区間での体幹前方傾斜角度変位量と方向転換タイムおよび接地時間との間に有意な正の相関関係 ($r=0.61$, $p<0.05$)が見られたと報告している。また、Havens and Sigward(2015)は成人男性サッカー選手を対象に 45° 及び 90° のカッティング動作を行わせ、その際の下肢のキネティクス及びキネマティクスを測定し、それぞれのカッティングタイムとの関係性について検討したところ、 45° のカッティングタイムに対しては重心と圧中心との最大距離 ($r=-0.39$, $p<0.05$)、減速期における股関節伸展モーメント ($r=0.39$, $p<0.05$)、股関節矢状面パワー ($r=-0.48$, $p<0.05$)、足関節底屈モーメント ($r=0.45$, $p<0.05$)がそれぞれ有意な相関関係を示し、 90° カッティングに対しては内外側方向地面反力の力積 ($r=-0.49$, $p<0.05$)、減速期における股関節内旋角度 ($r=-0.47$, $p<0.05$)、股関節前額面上パワー ($r=-0.59$, $p<0.05$)、膝関節伸展モーメント ($r=-0.50$, $p<0.05$)がそれぞれ有意な相関を示したことを報告している。さらに Shimokochi et al.(2013)は女性バスケットボール選手を対象に、サイドステップからのカッティング動作を行わせ、その際の重心高、関節角速度、床反力を測定し、方向転換の速さを示す指標(LCindex)を従属変数、重心高や角速度といった技術要素を独立変数としてステップワイズ法による重回帰分析を行い説明変数について検討したところ、接地時の重心高が説明変数として抽出されたことを

報告している。これらのことから方向転換の角度によって影響する技術要素が異なることが考えられ、統一した見解は未だ得られていない。また、方向転換動作の特徴として、方向転換を行う 1 歩前の脚での減速動作(Greig, 2009)、股関節及び膝関節の屈曲による重心の減速(Mclean et al., 2004)、股関節伸展筋群及び膝関節伸展筋群・足関節底屈筋群のエキセントリックな筋活動(Neptune et al., 1999)、股関節・膝関節伸展筋群及び足関節底屈筋群による推進力の獲得(Neptune et al., 1999)、股関節外旋動作による新たな進行方向への身体回旋(Havens and Sigward, 2015)、股関節によってコントロールされた体幹の側屈(Houck et al., 2006)といったことが報告されている。しかし、これらの研究は方向転換動作時のキネマティクス及びキネティクスについて検討したに過ぎず、方向転換能力すなわちスピードの遅速との関係について検討したものは少ない。また、Mclean et al.(2004)は男女間で見られる動作の違いの要因として下肢の筋力差を挙げており、筋力が動作すなわち技術要素に影響を与える可能性が考えられるが、方向転換の技術要素と筋力などの体力要素との関係性についても未だ明らかになっておらず、技術要素を高めるトレーニング作成のための情報が不足している。

1-3 方向転換能力の発達

方向転換能力の発達に関して、Hirose and Seki(2015)は 13 歳以下及び 15 歳以下のカテゴリー所属の男子サッカー選手を対象に体力要素と身体形態を 1 年に 1 回、2 年間に渡って計測し、その順位相関性について検討したところ、40m スプリントにおいては強い順位相関性が見られたのに対し、10m×5 においては大幅な順位変動があり、この年代における方向転換能力のトレーナビリティが高いこと、方向転換能力の改善

が体力要素よりもテクニックの改善によるものであることを報告している。また、Condello et al.(2013)は 8 歳から 19 歳までの男子ラグビー選手を対象として、15m の直線走と 60° の方向転換を含んだ 5m×3 のジグザグ走を用いて年代ごとの直線スピード及び方向転換スピードを比較したところ、直線スピードは年齢と共に直線的に向上するのに対し、方向転換スピードは直線的な向上が見られず、11 歳～13 歳で大きな向上が見られたことを報告している。これらのことから方向転換能力は成長期において大きく向上することが明らかとなっており、この年代におけるトレーニングの必要性が示される。

近年、国際オリンピック委員会 (International Olympic Committee: IOC) の提言より、成長期における成熟段階に合わせたトレーニングの必要性が示されている (Bergeron et al., 2015)。個人の成熟度を評価し、最終身長を予測するために最大身長増加速度年齢 (Peak Height Velocity Age: 以下 PHVA) などの様々な生物学的評価指標が用いられており、その算出方法の一つに BTT 法がある。BTT 法は過去の身長データから PHVA を含めた様々な生物学的指標を算出することが可能であり、従来用いられてきた手法よりも誤差が小さく、従来の手法では抽出できなかった中間発育スパートを抽出できることが特徴である。Ali and Ohtsuki (2001) は日本人の長期的な身長データに対して BTT 法を用い、算出された PHVA などの生物学的な指標から推測した最終身長を実際の最終身長と比較したところ、2 つはほとんど合致 ($-0.03 \sim 0.26\text{cm}$) していたことを報告している。また、Alam et al.(2004) は先述の先行研究の式を改良し、同様に BTT 法を用いて算出した PHVA などの生物学的指標から推測した最終身長を実際の最終身長と比較したところ、2 つは高い精度で合致 ($-0.005 \sim -0.006\text{cm}$) していたことを報告

しており、日本人においても BTT 法で算出した生物学的指標の信頼性は高いと言える。Ali et al.(2004)は BTT 法を用いて算出した日本人男性の PHVA はおよそ 12.7 歳(95%信頼区間 12.56～12.76 歳)であることを報告しており、欧米人より 1～1.5 歳ほど早いこと(Bogin et al., 1990, Byard et al., 1993, Ledford and Cole, 1998)が明らかとなっている。PHVA と方向転換能力との関係性について、Phillipaerts et al.(2005)は方向転換能力の向上が PHVA の 12 ヶ月前から徐々に大きくなり、PHVA の時期に変化量がピークを迎えること、その後 12 ヶ月間で変化量は徐々に減少していき、12 ヶ月後には向上が見られなくなることを報告しており、方向転換能力の発達と PHVA との関連性が示唆されている。方向転換能力の決定要因には先述のように複数の体力要素や技術要素があり、これらの体力要素は最も発達が見られる成熟段階が異なっていることが示されている(Phillipaerts et al., 2005)。また、技術要素について、Condello et al.(2013)は 8～19 歳のラグビー選手を対象に 60° の方向転換動作を比較したところ、年齢の増加に伴い方向転換戦略が曲線的なものから鋭角なものへと変化していたことを報告しており、成長に伴い方向転換動作が変化する可能性が示唆されている。また、方向転換動作ではないが、ジャンプ動作においても成長段階によって動作が変化する可能性が指摘されており、星川ら(2015)は中学生と高校生及び大学生バスケットボール選手のジャンプ動作を比較したところ、中学生に比べて高校生及び大学生の方がヒールストライク時及び跳躍動作中の最大股関節・膝関節屈曲角度が大きかったことを報告している。このように、方向転換能力の決定要素はそれぞれ成長に伴い変化することが明らかになっているが、これらのどの要素が成長期における方向転換能力の発達に貢献しているかは未だ明らかでない。また、技術要素の面

から方向転換能力の発達要因について検討したものについても未だ存在せず、成熟度と発達要因の関係性についても明らかでない。

1-4 目的及び仮説

以上より、方向転換能力の決定要因には体力要素と技術要素があり、体力要素に関しては方向転換能力との関係性について多くの研究がなされているが、技術要素についてはその多くが方向転換動作中のキネマティクス及びキネティクスについて検討したに過ぎず、方向転換能力との関係性についての情報が不足している。また、技術要素と体力要素の関係性についても未だ明らかでなく、これらについて検討することで、方向転換能力を高めるために必要な技術要素及びそれに影響する要素が明らかとなり、より効果的な方向転換トレーニングの作成に繋がる。さらに、方向転換能力は成長期に大きく発達することが明らかとなっていることに加えて、方向転換能力の決定要素はそれぞれ成長に伴い変化することが明らかになっているが、これらのどの要素が成長期における方向転換能力の発達に貢献しているかは未だ明らかでない。また、技術要素の面から方向転換能力の発達要因について検討したものについても未だ存在せず、成熟度と発達要因の関係性についても明らかでない。これらについて検討することで、個人の成熟度に応じた、より安全で効果的な方向転換トレーニングを作成する一助となる。そこで、本研究では方向転換能力と技術要素の関係を明らかにし、技術要素に影響を与える因子について検討すること、BTT法を用いて算出したPHVAを基準とした3つの成長段階ごとに方向転換能力の発達を技術的な面から比較し、それに貢献する因子を成長段階別に明らかにすることを目的として以下の2つの研究を行う。

研究 1：成長期サッカー選手における方向転換能力の技術的分析

研究 2：成長期サッカー選手における方向転換能力発達要因の検討

研究 1 では方向転換を行う 1 歩前での股関節及び膝関節の屈曲による重心の減速と股関節外旋運動による身体の回転を伴う重心の再加速が方向転換能力に影響を与え、減速動作に関しては遠心性の筋力が、再加速動作に関しては求心性の筋力と下肢パワーが影響するという仮説を立てた。また、研究 2 では方向転換能力の発達要因となる方向転換動作、またそれに影響する因子は各群において異なるという仮説を立てた。

2. 研究 1：成長期サッカー選手の方向転換能力の技術的分析

2-1 目的

サッカーにおいて、方向転換動作は多くの局面で必要となる動作であり、その数は 1 試合で 700 回以上とも言われている(Bloomfield et al. 2007)。また、競技力の選手は優れた方向転換能力を有していたことも報告されており(Gravina et al. 2008, Kaplan et al. 2009, Mirkov et al. 2010)、方向転換能力はサッカーの競技力に影響する重要な要素の一つであると言える。

方向転換能力の決定要素について、Young et al.(2002)は筋力、パワー、反応筋力といった体力要素に加え、身体の傾きと姿勢、加速と減速のためのストライド調整、足の位置といった技術要素を挙げている。この内、方向転換能力と体力要素との関係については多くの研究がなされており、直線スプリント(Hirose and Nakahori, 2015, Jones et al. 2009, Vescovi and McGuigan, 2008)、筋力(Jones et al., 2009, Negrete and Brophy, 2000)、反応筋力(Young et al. 2002,)、パワー(Barnes et al., 2007, Jones et al., 2009, Yanci et al., 2014) のいずれも方向転換能力との有意な相関関係を持つことが報告されている。一方、方向転換能力と技術要素との関係について、Sasaki et al.(2011)は体幹前方傾斜変位量が小さい方が 180° の方向転換を伴う 5m の往復走が速いことを示している。また、方向転換動作には、方向転換を行う 1 歩前の足での減速動作(Greig, 2009)、股関節及び膝関節の屈曲による重心の減速(Mclean et al., 2004)、股関節伸展筋群並びに膝関節伸展筋群のエキセントリックな筋活動(Neptune et al., 1999)、股関節・膝関節伸展筋群及び足関節底屈筋群による推進力の獲得(Neptune et al., 1999)、股関節外旋動作によって新たな進行方向に身体を向けること(Havens and Sigward, 2015)、股関節に

よってコントロールされた体幹の側屈(Houck et al., 2006)があることが報告されている。しかし、これらは方向転換動作時のキネマティクス及びキネティクスを明らかにしたに過ぎず、方向転換能力すなわちスピードの遅速との関係について検討したものは少ない。また、方向転換動作そのものに影響を与える体力要素について検討したものは未だ存在しない。

一方、方向転換能力は成長期において大きく向上することが明らかとなっており、特に最大身長増加速度年齢(Peak Height Velocity Age: PHVA)において最も向上が見られることが報告されている(Philippearts et al., 2005)。日本人男性の PHVA は 12.6～12.8 歳 (Ali et al., 2004) と報告されており、中学生に当たるこの年代においてはトレーニングの必要性が示唆される。しかし、これまでに行われてきた方向転換動作のバイオメカニクスの分析は成人を対象としたものがほとんどであり、成長期に関する情報が不足している。

上記のことから、本研究では中学生男子サッカー選手を対象として、方向転換能力と技術要素との関係を明らかにし、技術要素に影響を与える因子について検討することで、より効果的な方向転換能力のトレーニング立案の一助とすることを目的とする。

2-2 方法

2-2-I 対象

対象は健常な男子中学生サッカー選手 40 名(年齢 13.3 ± 0.6 歳、身長 158.5 ± 8.6 cm、体重 47.2 ± 9.1 kg、平均値 $\pm$ 標準偏差；以下同様)であった。対象者はいずれも同一のチームに所属する入団にあたって選抜された選手であり、一定以上の競技力を有していた。フィールドプレイヤーと比較して活動量が少なく、通常の練習においても異なるトレーニングを行うなどといったポジションの特性を考慮し、ゴールキーパーの選手は対象外とした。また、利き足による影響を取り除くために左利きの選手も同様に対象外とした。対象者並びに保護者には実験を行う前に事前に内容について説明をし、本研究への参加の同意を得た。なお、本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を得て実施した(承認番号：2015-226)。

2-2-II 測定項目

本研究では以下の項目について測定を行った。

身体的項目：除脂肪量，等速性筋力，垂直跳び，関節可動域

技術的項目：方向転換動作解析項目

以下に詳細な測定方法について記す。

(1) 除脂肪量

筋量の指標として、体幹及び両下肢の除脂肪量を測定した。測定には 2 重エネルギー X 線吸収測定(DXA)装置(DelphiA-QDR、Hologic 社製、USA)を用いた。被験者には、軽装(T シャツとハーフパンツ)に着替えさせた上で、装置上に仰臥位をとらせ、足部が動かないように固定した。

測定の間は被験者に安静を指示した。なお、本測定は放射線取り扱い資格を有する医師が行った。

(2) 等速性筋力

筋力の指標として膝関節屈曲及び伸展の等速性筋力を測定した。測定には等速性筋力計(BIODEX System III、Biodex 社製、USA)を用いた。測定の様子を図 1-1 に示す。測定は膝関節の屈曲及び伸展について行い、角速度は 60deg/sec 及び 180deg/sec で行った。収縮様式は求心性収縮と遠心性収縮の 2 種類について行い、測定脚は両脚とした。被験者を背面が背もたれに全て付くように深く腰掛けた状態で筋力計上に座らせ、膝の後面が座面の端に当たるように背もたれの位置を調整した。その後、ダイナモメーターの回転中心と膝関節裂隙の高さが合うように椅子の高さを調節し、被験者の体幹及び測定脚の大腿部を付属のストラップで椅子に固定した。膝関節完全伸展位及び椅子に座った状態での最大屈曲位を測定時の可動域として設定し測定を行った。被験者は測定姿勢をとり、数回力発揮の練習をした後、60deg/sec での右足の膝関節屈曲及び伸展の求心性収縮の測定から開始した。測定の順番については図 1-2 に示す。測定はそれぞれの条件で 3 回ずつ行い、その中の最大値を採用した。なお、得られた値を被験者の体重で正規化することで体重の影響を排除し、測定値として採用した。

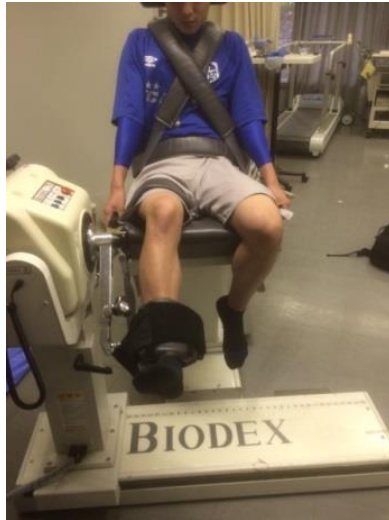


図 1－1 膝関節等速性筋力測定

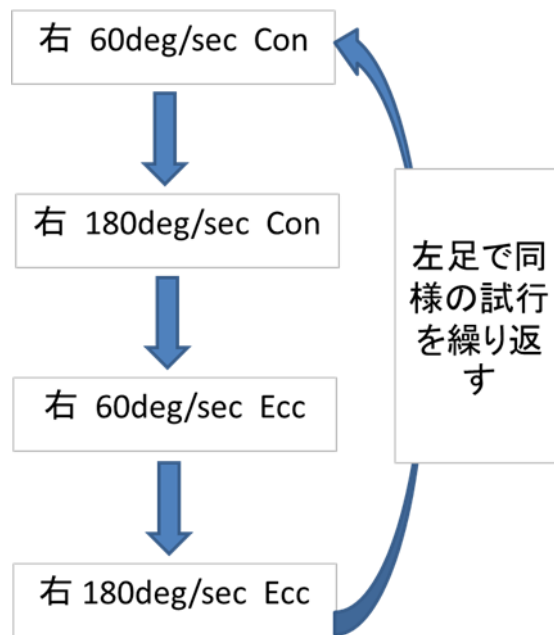


図 1－2 等速性筋力測定手順

Con : Concentric Contraction Ecc : Eccentric Contraction

(3) 垂直跳び

筋パワーの指標として、垂直跳び(Vertical Jump 以下 VJ)を測定した。

測定にはジャンプ測定専用ソフトウェア(マルチジャンプテスト IFS-31D、ディケイエイチ社製、Japan)を用いた。被験者に、付属するマットの上で膝関節を 90° 屈曲したスクワット姿勢を取らせ、その姿勢から反動をつけずに跳躍を行わせた。跳躍の際には手を腰に当て、腕の勢いを使わずにできるだけ高く跳躍するように指示した。測定は十分なウォーミングアップを行った後に 3 回行い、最大のものを測定値として採用した。

(4) 関節可動域

柔軟性の指標として、股関節屈曲/伸展の関節可動域(Range Of Motion 以下 ROM)を測定した。測定には 3 次元動作解析装置(EVaRT5.0.4、Motion Analysis 社製、USA) 及び 8 台の赤外線カメラ(Eagle and Hawk Camera、Motion Analysis 社製、USA)を用いた。被験者にスパッツとアンダーウェアを着用させ、反射マーカーを両肩峰、両腸骨稜上部、両大転子、両大腿骨外側上顆に貼付した。その後、被験者に仰臥位を取らせ、検者が他動的に股関節を屈曲させ、筋の緊張を感じるあるいは代償動作が観察された関節位置を保持し、1 秒間撮影を行った。赤外線カメラのサンプリング周波数は 200Hz とし、測定は一度のみ行った。関節角度の定義は日本整形外科学会と日本リハビリテーション医学会が公示した「関節可動域表示ならびに測定法」に基づき、肩峰と腸骨稜を結んだ直線と大転子と大腿骨外側上顆を結んだ直線のなす角度とし、1 秒間の平均値を関節可動域の値として採用した。

(5) 方向転換動作課題 (5m×2)

方向転換能力の指標として 5m の往復走を方向転換動作課題として測

定した。図 1-3 に測定の様子を示した。タイムの測定には光電管 (Timing Systems、BROWER 社製、USA)を用いた。スタートライン上に光電管を設置し、その 5m 前方の床反力計上にもう 1 本のラインを引いた。被験者にスタートライン上からもう 1 本のラインまで全力でのスプリントを行わせ、ライン上で 180° の方向転換を行った後、スタートラインまで走り抜けさせ、そのタイムを測定した(以下 5m×2)。被験者には 3 台の床反力計の上を走ること、右足でラインを踏むあるいは踏み越えるように方向転換を行うことを指示した。また、方向転換の様子を 8 台の赤外線カメラを用いて、サンプリング周波数 200Hz として撮影し 3 次元動作解析装置を用いて 3 次元動作解析を行い、座標データを取得した。被験者にはスイミングキャップとインナー、アンダースパッツ、シューズを着用させ、マーカーは頭頂、両側頭部、第 7 頸椎棘突起、胸骨柄、両肩峰、両上腕骨外側上顆、両尺骨茎状突起、両第 3 中手骨頭、両上前腸骨棘、両上後腸骨棘、両腸骨稜上部、両大転子、両大腿骨外側上顆、両大腿骨内側上顆、両脛骨粗面、両内果、両外果、両踵骨上・下、両踵骨外側面、両第 5 中足骨頭、両第 2 中足骨頭、の計 41 点に貼付した。なお、頭部のマーカーはスイミングキャップ上から、足部のマーカーはシューズ上から貼付した。また、接地と離地の時点を記録するために 3 枚の床反力計 (AMTI 社製、USA, KISTLER 社製、Swiss)を用いて、サンプリング周波数 1000Hz として動作中の床反力を記録した。動作課題は十分な練習後に最大努力で 3 回行い、タイムが最も速かったものを採用した。途中でマーカーが外れた場合やラインの手前で切り返した場合、床反力計の外を走った場合は失敗とし、課題を 3 回成功するまで行った。疲労の影響を取り除くために、課題間では十分な休息を設けた。

得られた座標データについて、10Hz のローパスフィルタ処理を行っ

た後、数値計算ソフト(Matlab R2015b、MathWorks 社製、Japan)上でプログラムを作成し、股関節、膝関節、足関節、体幹の角度を算出した。関節角度は静止立位状態を基準とした場合のマーカーの変位から各セグメントの位置を決定し、以下の順に回転させた Cardan 角の定義を用いて身体座標系からの角度として算出した：外転(+)/内転(-)、屈曲(+)/伸展(-)、外旋(+)/内旋(-)。なお、股関節角度は骨盤に対する大腿骨の角度、膝関節角度は大腿骨に対する脛骨の角度、足関節角度は脛骨に対する足部の角度、体幹角度は骨盤に対する胸部の角度として算出し、膝関節と足関節の角度は屈曲/伸展方向のみ算出した。また、全身のマーカーから各セグメントの重心を算出し、これらを合成することで身体重心を算出した。解析区間は方向転換を行う前の左足接地時から方向転換を行った後の左足離地時(図 1-4)とし、各足の接地時・停止時の角度及び各足接地時から停止時までの角度変位量を算出した。角度変位量については接地～停止までの時間で除すことで単位時間あたりの変位量を算出した。時系列変化については、接地から停止及び停止から離地までの時間をそれぞれ 100%として算出した。なお、床反力計の値が非荷重時の波形からその時の標準偏差の 3 倍を超えた時点を接地、下回った時点を離地と定義し、停止は重心の水平方向の速度が 0 に最も近づいた時点と定義した。重心高は脚長による影響を取り除くため、対象者の転子果長をメジャーで測定し、正規化した。

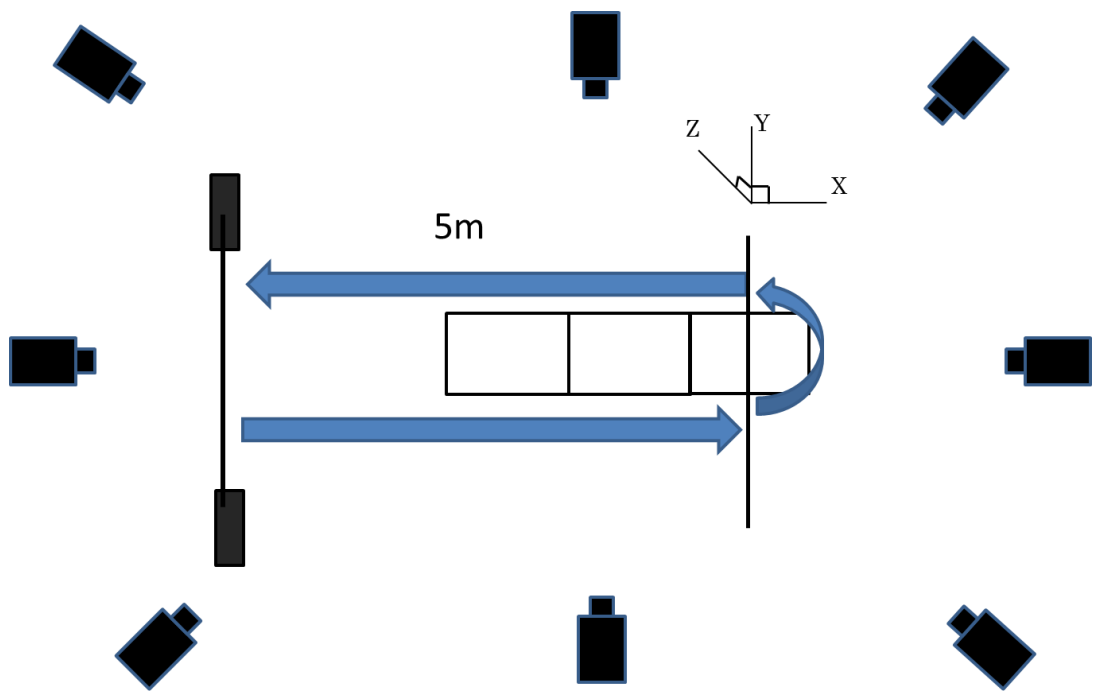


図 1－3 方向転換動作課題



左足接地時



右足接地時



右足離地時



左足離地時

図 1-4 方向転換動作期分け

2-2-III 統計

測定結果は平均値±標準偏差で表示した。統計用解析ソフトウェア (SPSS Statistics 22、IBM 社製、USA)を用いて、方向転換トータルタイムと全ての技術的項目との関係性について、Pearson の積率相関係数を用いて検討した。その中で $p<0.05$ かつ $r>|0.4|$ の項目を抽出し、方向転換トータルタイムを従属変数、抽出された技術的項目を独立変数としたステップワイズ法による重回帰分析を行った。重回帰分析の結果抽出

された説明変数に関連する技術的項目及び身体的項目を Pearson の積率相関係数を用いて検討し、 $p < 0.05$ かつ $r > |0.4|$ のものを抽出した。いずれも統計学的有意水準は危険率 5% 未満とした。

2-3 結果

表 1-1～表 1-6 に身体的測定項目の結果を示す。

相関分析の結果、左足接地時重心速度($r=-0.522$; 表 1-12)、右足離地時右股関節外旋角度($r=-0.421$; 表 1-10)、左足離地時重心速度($r=0.402$; 表 1-12)、右足接地時重心高($r=0.427$; 表 1-13)、左足接地～停止での重心速度変位量($r=0.541$; 表 1-15)、及び体幹回旋変位量($r=0.432$; 表 1-15)の 6 つの項目において $5m \times 2$ との間に有意な中程度の相関が見られた($p<0.05$)。

表 1-17 にこれらの 6 つの項目を独立変数とし、ステップワイズ法を用いた重回帰分析の結果を示した。重回帰分析の結果、 $5m \times 2$ に関係する因子として、左足接地～停止での重心速度変位量と左足離地時重心速度の 2 項目が抽出された。

表 1-18, 1-19 には重回帰分析で抽出された 2 つの説明変数と同時点におけるその他の技術的測定項目及び身体的測定項目との間の相関係数をそれぞれ示した。

左足接地～停止での重心速度変位量に対しては、左膝関節屈曲遠心性筋力 60deg/sec ($r=-0.503$)、左膝関節屈曲求心性筋力 180deg/sec ($r=-0.459$)、左膝関節屈曲遠心性筋力 180deg/sec ($r=-0.470$)、左股関節屈曲角度変位量($r=-0.419$)、体幹側屈角度変位量($r=0.416$)が有意な中程度の相関関係を示した($p<0.05$)。さらに、左股関節屈曲角度変位量に対しては左膝関節屈曲遠心性筋力 60deg/sec が有意な相関を示した($r=0.457$, $p<0.05$)。

左足離地時重心速度に対しては、VJ($r=-0.491$)、右膝関節伸展求心性筋力 60deg/sec ($r=-0.467$)、右膝関節屈曲求心性筋力 60deg/sec ($r=-0.486$)、右膝関節伸展求心性筋力 180deg/sec ($r=-0.478$)、左膝屈曲角

度($r=0.449$)が有意な中程度の相関関係を示した($p<0.05$)。

表 1-1 関節可動域及び運動パフォーマンス

VJ (cm)	Right Hip Flex ROM (deg)	Left Hip Flex ROM (deg)	5m×2 (sec)
28.1±4.4	112.8±6.7	114.8±8.0	3.04±0.13

Flex : Flexion

表 1-2 除脂肪量(kg)

Trunk LBM	Left Leg LBM	Right Leg LBM
18.0±3.6	6.8±1.3	7.0±1.4

表 1-3 右膝関節等速性筋力 60deg/sec (%BW)

Right Knee Ext Con 60	Right Knee Flex Con 60	Right Knee Ext Ecc 60	Right Knee Flex Ecc 60
206.4±32.6	121.0±21.9	234.4±53.4	178.8±31.4

Ext : Extension, Flex : Flexion

Con : Concentric Contraction Ecc : Eccentric Contraction

表 1-4 右膝関節等速性筋力 180deg/sec(%BW)

Right Knee Ext Con 180	Right Knee Flex Con 180	Right Knee Ext Ecc 180	R Knee Flex Ecc 180
158.8±16.1	98.6±19.4	230.4±53.4	168.2±26.2

表 1-5 左膝関節等速性筋力 60deg/sec(%BW)

Left Knee Ext Con 60	Left Knee Flex Con 60	Left Knee Ext Ecc 60	Left Knee Flex Ecc 60
225.9±49.7	118.2±31.1	279.3±74.6	182.1±40.1

表 1-6 左膝関節等速性筋力 180deg/sec(%BW)

Left Knee Ext Con 180	Left Knee Flex Con 180	Left Knee Ext Ecc 180	Left Knee Flex Ecc 180
165.8±27.1	103.5±25.3	279.5±76.1	183.0±41.8

図 1-5～1-19 に技術的測定項目の平均値の時系列変化を示した。
また、表 1-7～1-14 に各解析時点における技術的測定項目の結果を示した。表 1-15 と表 1-16 に各足接地時から停止までの単位時間辺りの変位量の結果を示した。

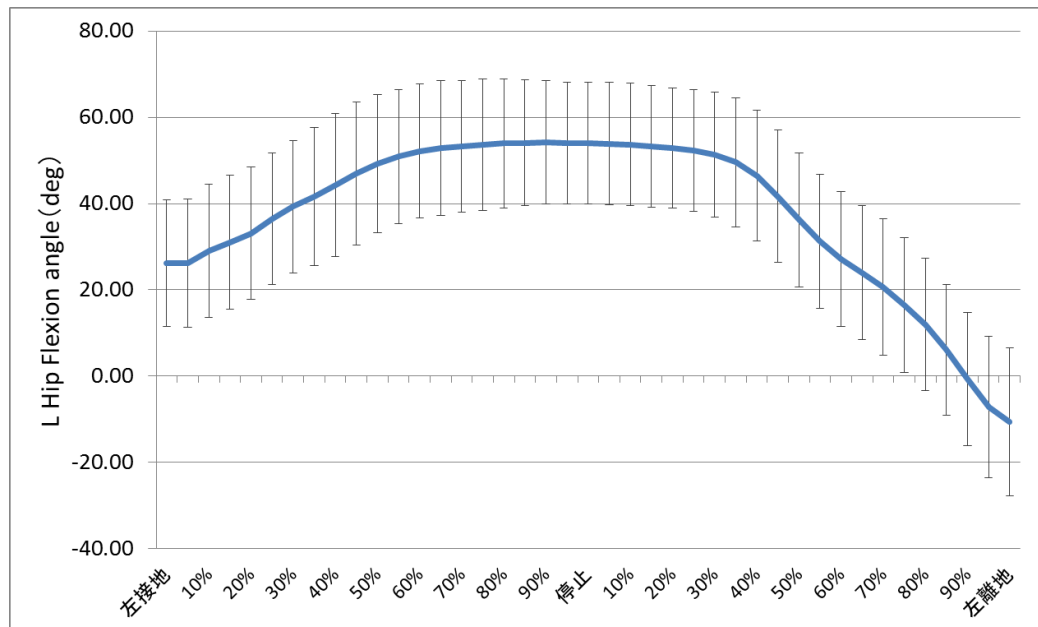


図 1-5 左股関節屈曲角度変位

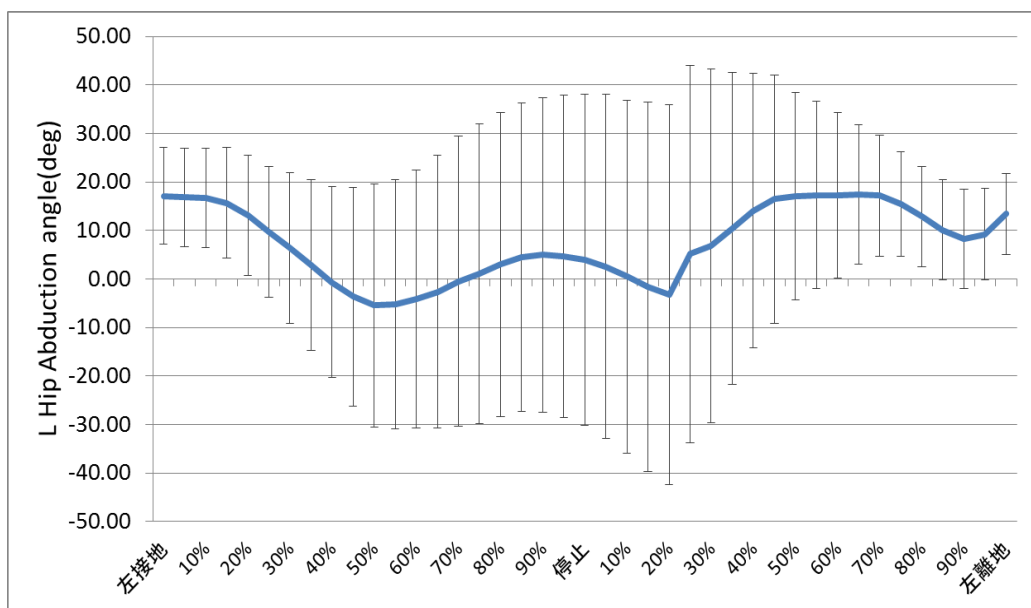


图 1-6 左股關節外轉角度變位

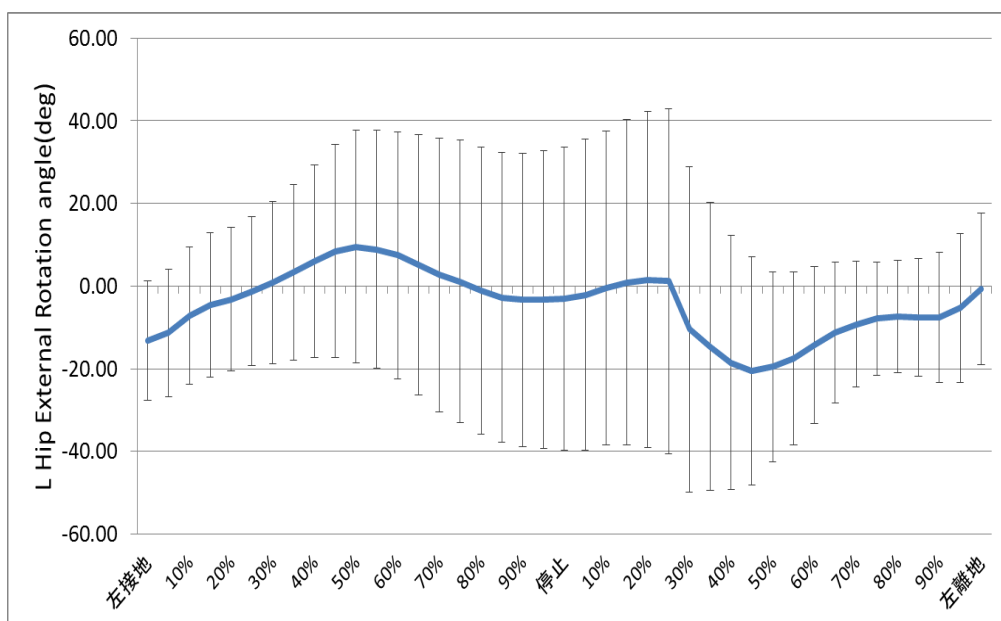


图 1-7 左股關節外旋角度變位

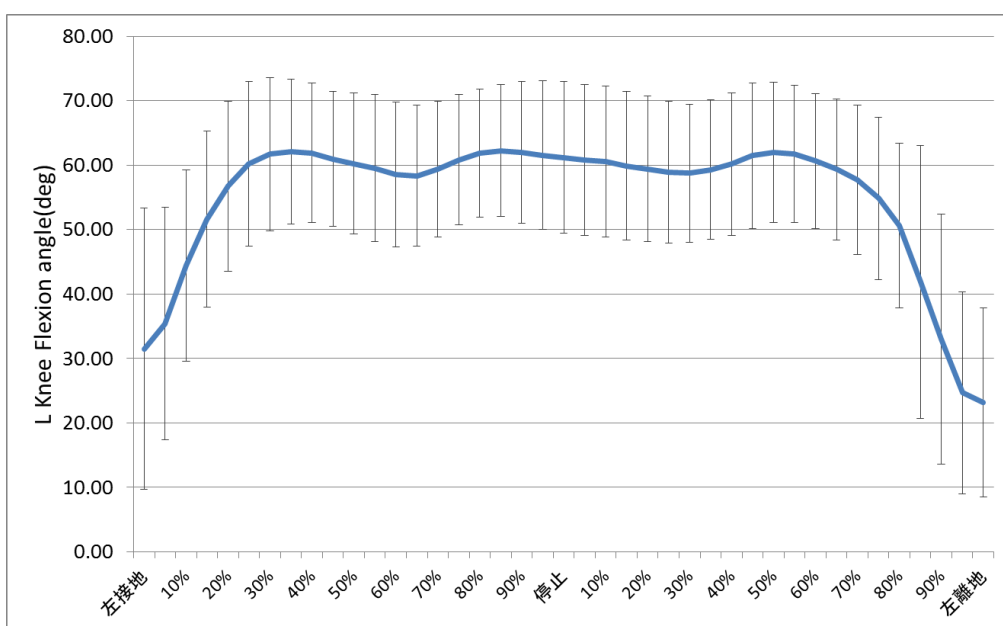


圖 1－8 左膝關節屈曲角度變位

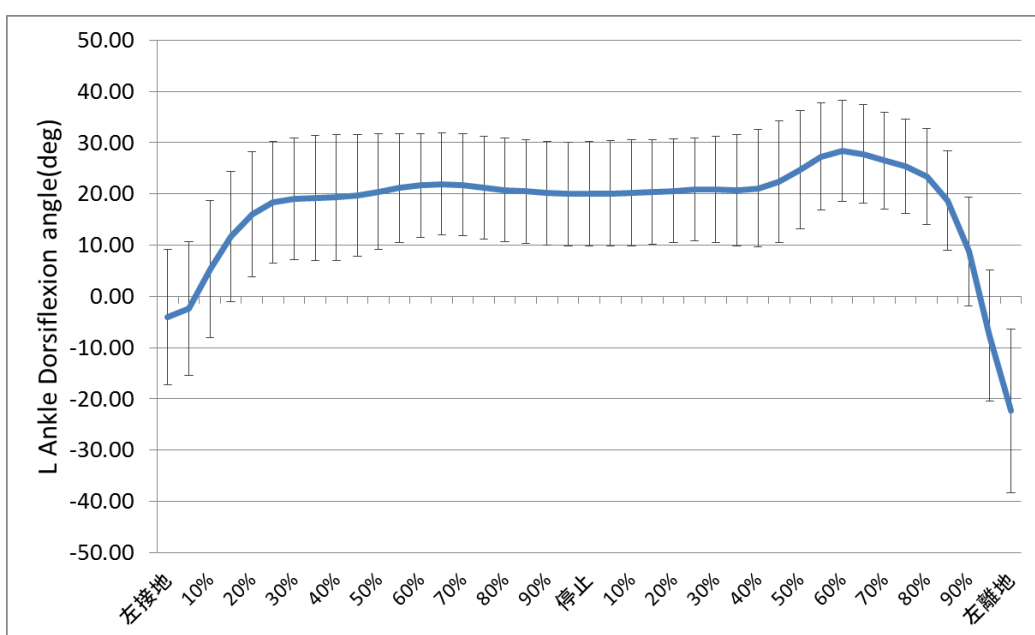


圖 1－9 左足關節背屈角度變位

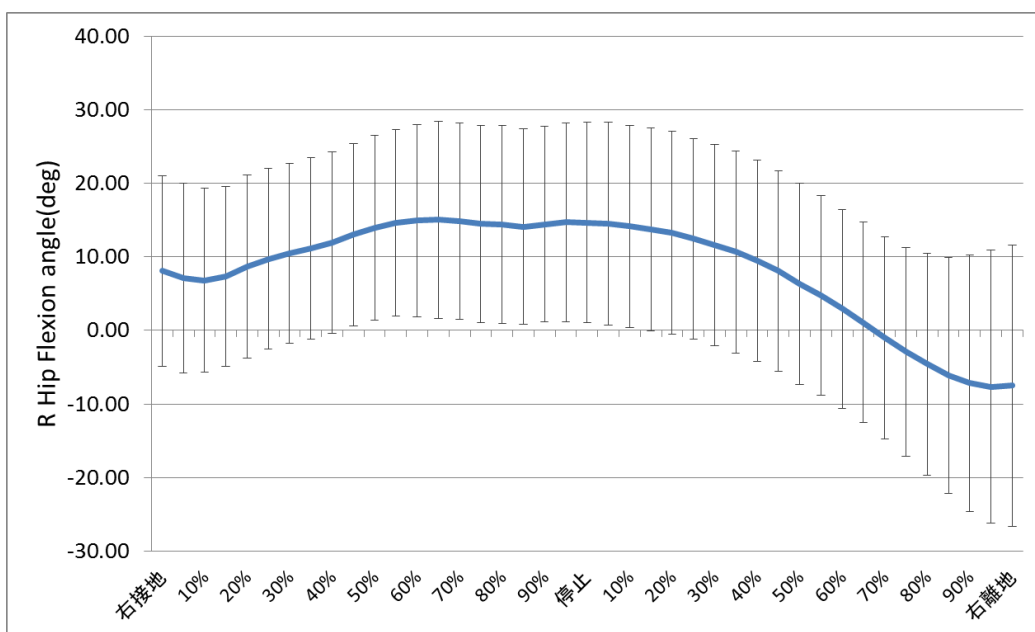


图 1-10 右股關節屈曲角度变位

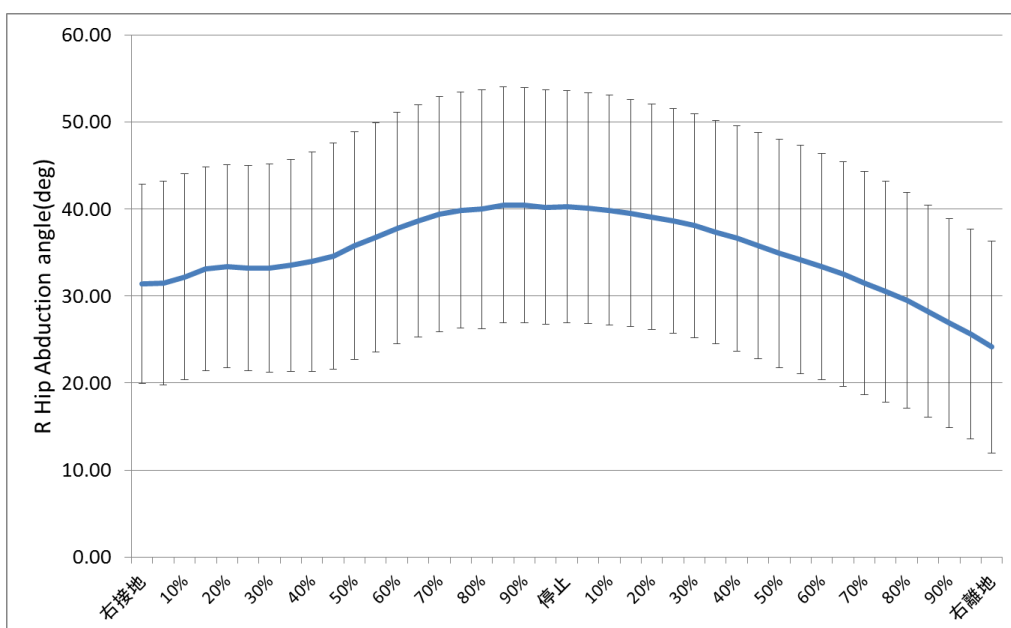


图 1-11 右股關節外転角度变位

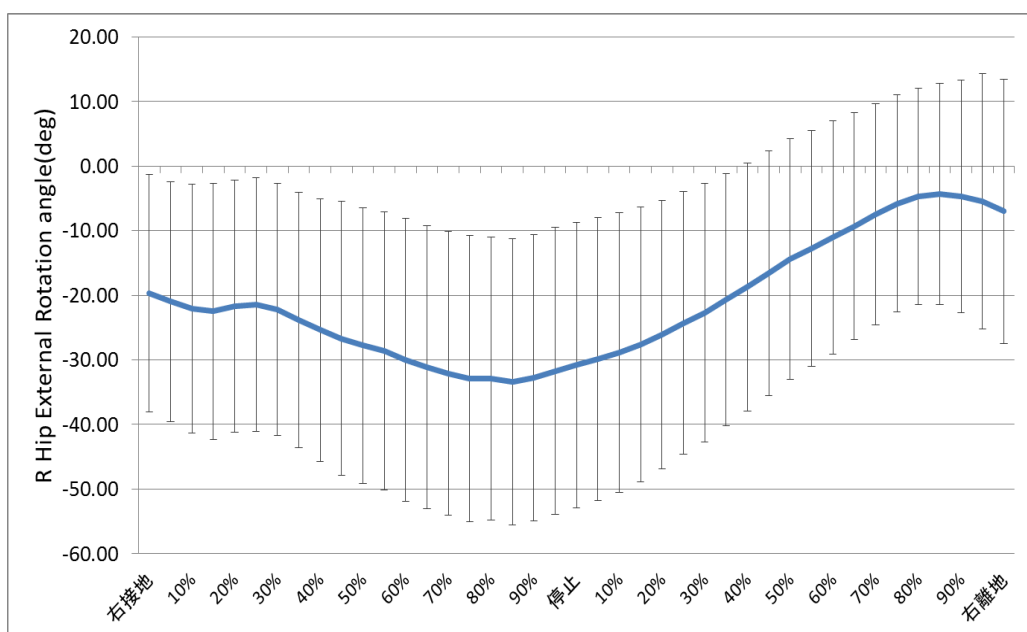


图 1-12 右股關節外旋角度变位

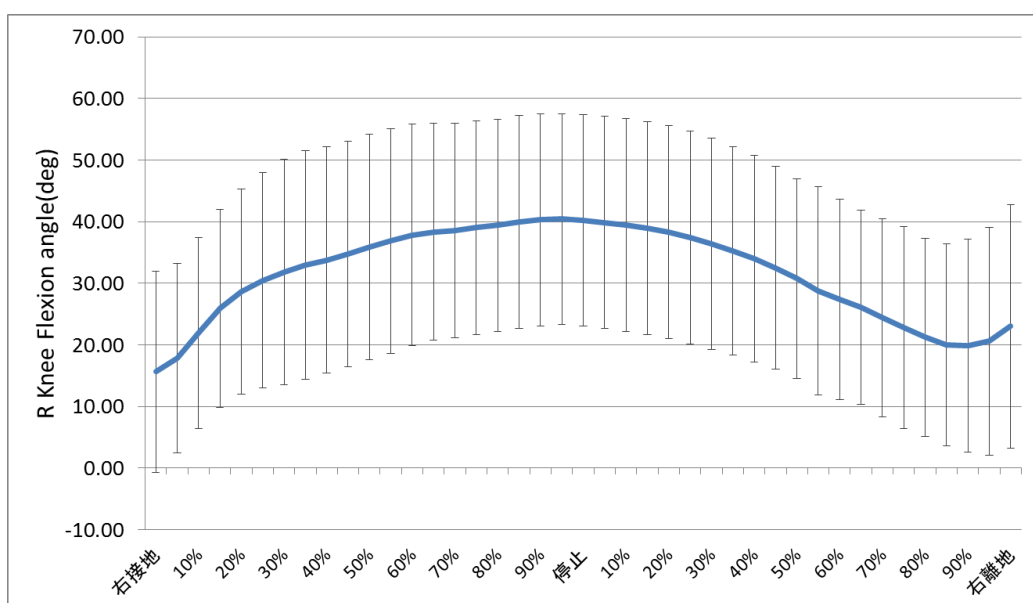


图 1-13 右膝關節屈曲角度变位

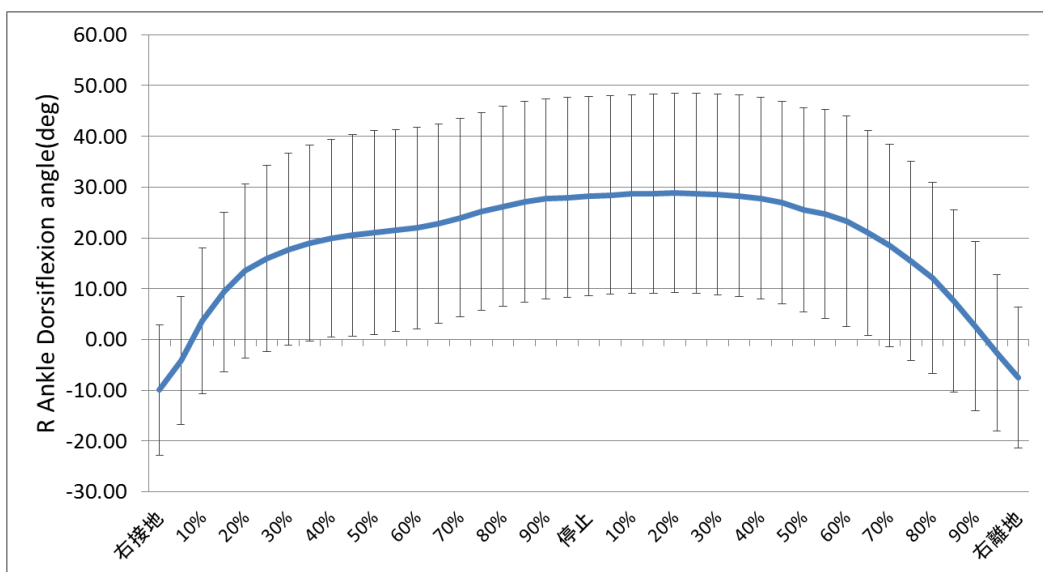


图 1-14 右足關節背屈角度變位

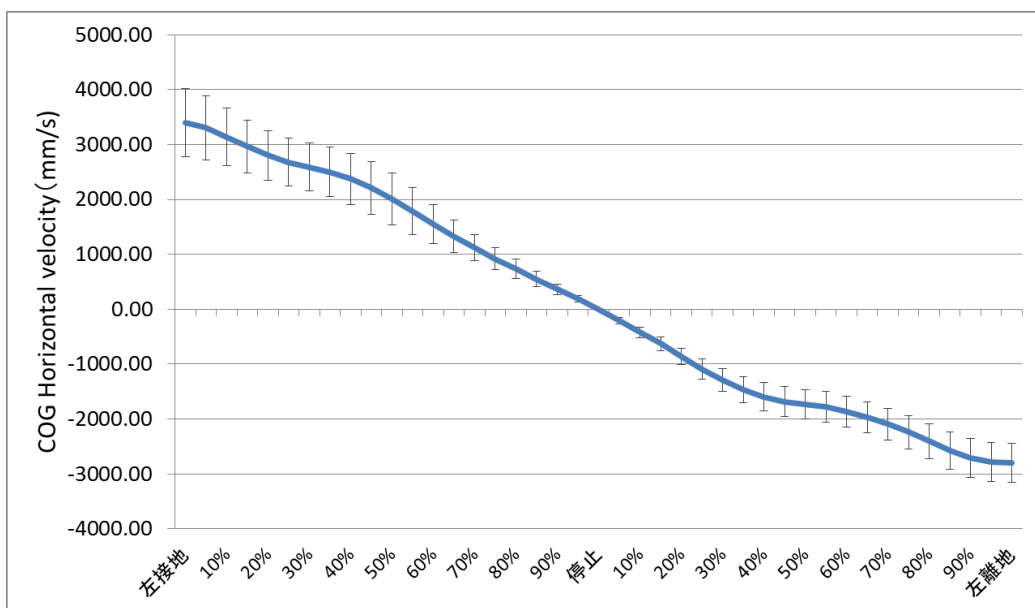


图 1-15 水平方向重心速度變位

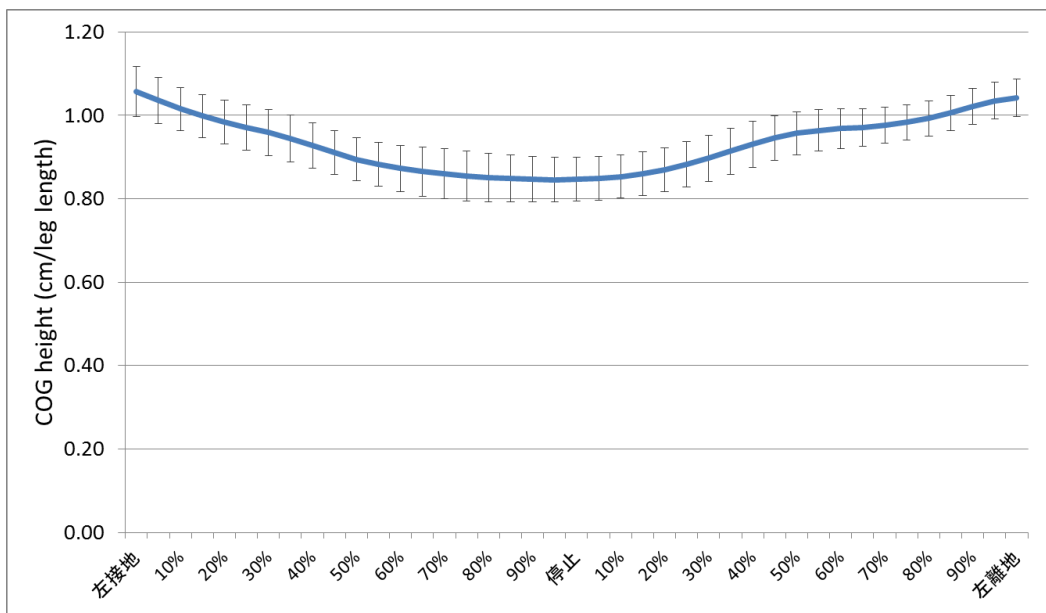


图 1-16 重心高变位

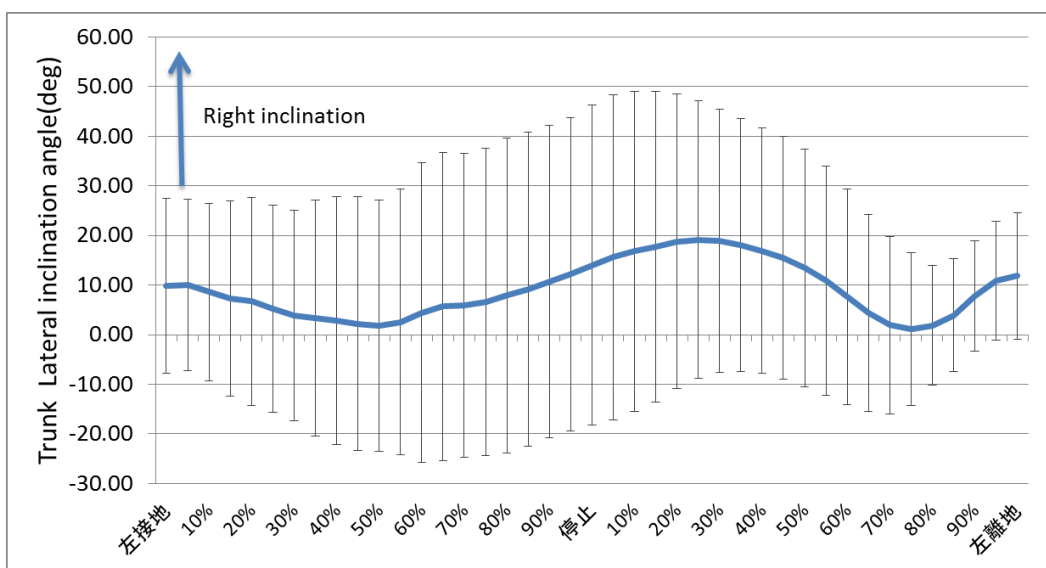


图 1-17 体幹側屈角度变位

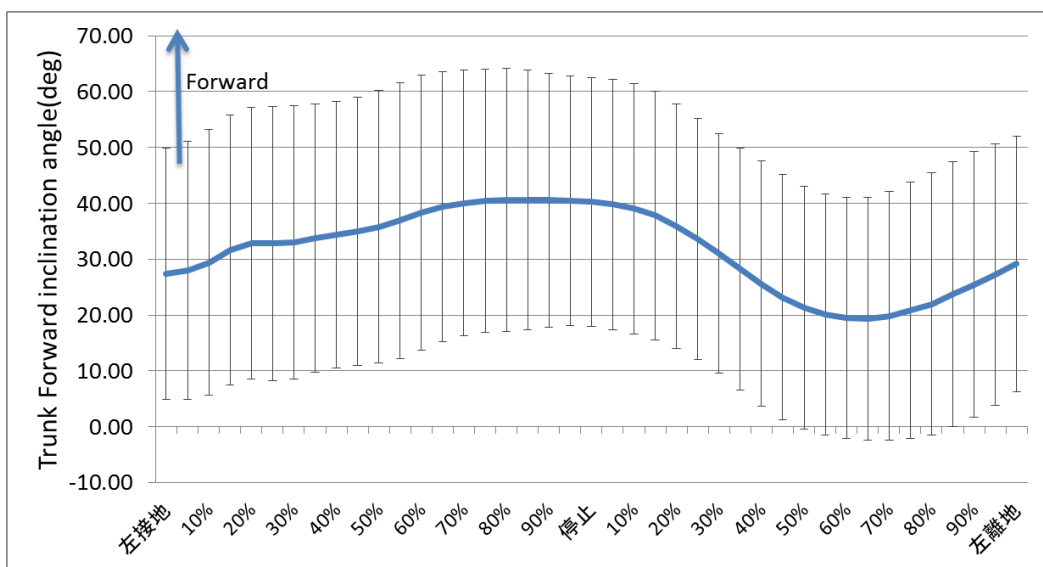


图 1-18 体幹前屈角度

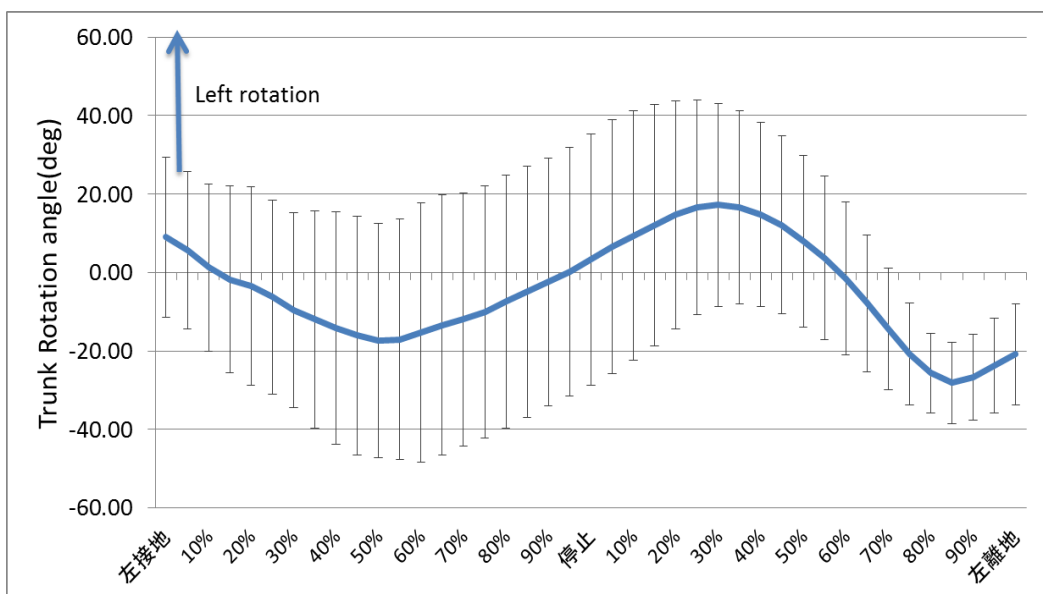


图 1-19 体幹回旋角度变位

表 1-7 左足接地時左下肢關節角度(deg)

Left Hip Flex	Left Hip Abd	Left Hip ER	Left Knee Flex	Left Ankle Dor
26.2 ± 14.7	17.1 ± 9.9	-13.3 ± 14.5	31.5 ± 21.8	-4.0 ± 13.2

Flex : Flexion, Abd : Abduction
ER : External Rotation, Dor : Dorsiflexion

表 1-8 右足接地時關節下肢角度 (deg) (a)左 (b)右

(a)

Left Hip Flex	Left Hip Abd	Left Hip ER	Left Knee Flex	Left Ankle Dor
43.5 ± 15.9	1.8 ± 24.2	2.2 ± 27.7	62.1 ± 10.8	19.8 ± 11.6

(b)

Right Hip Flex	Right Hip Abd	Right Hip ER	Right Knee Flex	Right Ankle Dor
8.1 ± 13.0	31.4 ± 11.5	-19.7 ± 18.4	15.7 ± 16.4	-9.9 ± 12.8

表 1-9 停止時下肢關節角度 (deg) (a)左 (b)右

(a)

Left Hip Flex	Left Hip Abd	Left Hip ER	Left Knee Flex	Left Ankle Dor
54.0 ± 14.1	4.0 ± 34.2	-13.2 ± 14.5	61.2 ± 11.8	20.0 ± 10.2

(b)

Right Hip Flex	Right Hip Abd	Right Hip ER	Right Knee Flex	Right Ankle Dor
14.7 ± 13.6	40.3 ± 13.3	-30.8 ± 22.1	15.7 ± 16.4	28.2 ± 19.6

表 1-10 右足離地時下肢關節角度 (deg) (a)左 (b)右

(a)				
Left Hip Flex	Left Hip Abd	Left Hip ER	Left Knee Flex	Left Ankle Dor
35.5 ± 16.5	17.2 ± 19.8	-19.5 ± 22.1	62.1 ± 11.4	24.0 ± 12.4
(b)				
Right Hip Flex	Right Hip Abd	Right Hip ER	Right Knee Flex	Right Ankle Dor
-7.5 ± 19.2	24.1 ± 12.2	-7.0 ± 20.5	23.1 ± 19.8	-7.5 ± 13.9

表 1-11 左足離地時左下肢關節角度 (deg)

Left Hip Flex	Left Hip Abd	Left Hip ER	Left Knee Flex	Left Ankle Dor
-10.6 ± 17.2	13.4 ± 8.3	-0.7 ± 18.3	23.2 ± 14.7	-22.3 ± 15.9

表 1-12 水平方向重心速度 (mm/s)

Left foot-contact	Right foot-contact	Right foot-off	Left foot-off
3401.6 ± 619.6	2560.7 ± 457.9	-1758.4 ± 336.6	-2798.8 ± 350.7

表 1-13 重心高 (%脚長)

Left foot-contact	Right foot-contact	Stop	Right take-off	Left take-off
1.06 ± 0.060	0.93 ± 0.049	0.85 ± 0.052	0.96 ± 0.053	1.04 ± 0.045

表 1-14 体幹角度 (deg) (a)側屈角度 (b)前屈角度 (c)回旋角度

(a)

Left foot-contact	Right foot-contact	Stop	Right foot-off	Left foot-off
9.8 ± 17.7	3.2 ± 20.7	14.0 ± 32.2	13.0 ± 23.1	11.8 ± 12.8

(b)

Left foot-contact	Right foot-contact	Stop	Right foot-off	Left foot-off
27.4 ± 22.5	32.8 ± 24.2	40.3 ± 22.3	21.8 ± 21.4	29.1 ± 22.8

(c)

Left foot-contact	Right foot-contact	Stop	Right foot-off	Left foot-off
9.0 ± 20.5	-14.7 ± 26.3	3.4 ± 32.1	7.4 ± 21.4	-20.9 ± 12.9

表 1-15 左足接地～停止変位量 (a)左 (deg) (b)重心

(a)

Left Hip Flex	Left Hip Abd	Left Hip ER	Left Knee Flex	Left Ankle Dor
63.3 ± 28.5	-26.4 ± 80.3	20.0 ± 80.0	63.1 ± 58.5	54.3 ± 19.5

(b)

COG Velocity (mm/s)	COG Height (% 脚長)	COG Y Fluctuation (mm)
-7661.8 ± 1151.9	-0.48 ± 0.14	127.3 ± 125.8

(c)

Trunk Forward Inclination	Trunk Lateral Inclination	Trunk Rotation
28.9 ± 25.0	9.1 ± 46.7	-10.4 ± 51.2

Flex : Flexion, Abd : Abduction
ER : External Rotation, Dor : Dorsiflexion

表 1-16 右足接地～停止変位量

(a)左 (deg) (b)右 (deg) (c)重心 (d)体幹 (deg)

(a)				
Left Hip Flex	Left Hip Abd	Left Hip ER	Left Knee Flex	Left Ankle Dor
37.3±34.2	13.5±67.8	-24.9±71.9	-1.2±47.1	0.6±25.4
(b)				
Right Hip Flex	Right Hip Abd	Right Hip ER	Right Knee Flex	Right Ankle Dor
24.0±41.8	30.7±32.2	-39.7±67.9	97.7±63.9	143.9±71.5
(c)				
COG Velocity (mm/s)	COG Height (% 脚長)	COG Y Fluctuation (mm)		
-9515.8±1911.0	-0.32±0.16	104.8±133.1		
(d)				
Trunk Forward Inclination	Trunk Lateral Inclination	Trunk Rotation		
30.2±32.1	34.5±77.5	63.3±82.8		

表 1-17 重回帰分析結果

R ² =0.40, ANOVA<0.01	B=	β=	p=
Invariable	3.892		0.000
COG velocity Left FC ~ Stop	0.000	0.520	0.000
COG velocity @Left FO	0.000	0.372	0.005

FC : foot-contact, FO : foot-off

R² : 自由度調整済決定係数

表 1-18 左足接地～停止での重心速度変位量に対する他項目の相関係数

(a) 60deg/sec 筋力 (b) 180deg/sec 筋力

(c) その他身体的項目 (d) 技術的項目

(a)							
R KE	R KF	R KE	R KF	L KE	L KF	L KE	L KF
Con	Con	Ecc	Ecc	Con	Con	Ecc	Ecc
60	60	60	60	60	60	60	60
.072	-.191	-.080	-.227	-.263	-.300	-.197	-.503**

(b)							
R KE	R KF	R KE	R KF	L KE	L KF	L KE	L KF
Con	Con	Ecc	Ecc	Con	Con	Ecc	Ecc
180	180	180	180	180	180	180	180
.032	-.262	-.093	-.342*	-.384*	-.459**	-.231	-.470**

(c)					
R Hip	L Hip	VJ	Trunk	Left	Right Leg
Flex	Flex				
ROM	ROM		LBM	Leg	LBM
				LBM	
-.104	-.097	-.039	.203	.254	.273

(d)									
LHF	LHA	LHER	LKF	LAD	CGH	CGYF	TFI	TLI	TR
-.419**	.093	-.087	-.314*	-.203	.378*	.068	-.330*	.416**	.244

** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

R : Right, L : Left

KE : Knee Extension, KF : Knee Flexion

LHF : Left Hip Flexion angle

LHA : Left Hip Abduction angle

LHER : Left Hip External Rotation angle

LKF : Left Knee Flexion angle

LAD : Left Ankle Dorsiflexion angle

CGH : Center of Gravity Height

CGYF : Center of Gravity Y fluctuation

TFI : Trunk Forward Inclination angle

TLI : Trunk Lateral Inclination angle

TR : Trunk Rotation angle

表 1－19 左足離地時における重心速度に対する他項目の相関係数

(a) 60deg/sec 筋力 (b) 180deg/sec 筋力

(c)その他身体的項目 (d)技術的項目

(a)

R KE Con 60	R KF Con 60	R KE Ecc 60	R KF Ecc 60	L KE Con 60	L KF Con 60	L KE Ecc 60	L KF Ecc 60
-.467**	-.486**	-.178	-.250	-.378*	-.310	-.299	-.286

(b)

R KE Con 180	R KF Con 180	R KE Ecc 180	R KF Ecc 180	L KE Con 180	L KF Con 180	L KE Ecc 180	L KF Ecc 180
-.478**	-.265	-.309	-.155	-.316*	-.385*	-.364*	-.349*

(c)

R Hip Flex ROM	L Hip Flex ROM	VJ	Trunk LBM	Left Leg LBM	Right Leg LBM
-.224	-.162	-.491**	-.307	-.362*	-.383*

(d)

LHF	LHA	LHER	LKF	LAD	CGH	TFI	TLI	TR
.334*	.331*	-.087	.449**	.381*	.211	.399*	-.054	.348*

** : p<0.01 * : p<0.05

2-4 考察

本研究では成長期サッカー選手を対象として、方向転換能力と技術要素の関係を明らかにし、技術要素に影響を与える因子について重回帰分析と相関分析を用いて検討した。重回帰分析の結果、左足接地～停止での重心速度変位量と左足離地時重心速度が $5m \times 2$ の説明変数として抽出された。言い換えると、接地から停止までの重心速度を急激に減速させること及び方向転換後に新たな進行方向へ大きな重心速度を得ることが方向転換トータルタイムを短縮する要因であることを示唆している。

本研究で示された、左足接地～停止での重心速度変位量が大きく、急激に減速できることが方向転換時間の短縮化につながることは、先行研究結果を支持するものであった。Greig(2009)は、サッカー選手を対象にして右脚で切り返す 180° の方向転換動作を解析したところ、方向転換を行う 1 歩前の脚(左脚)で減速動作を完了させて方向転換を行うための安定した土台づくりの役割を果たすことが重要であることを示唆している。

このような減速期の急激な重心速度変位量は、主に股関節や膝関節の屈曲動作によって実現されていると考えられる。McLean et al.(2004)は成人男女を対象におよそ 30° の方向転換動作を行わせ、急激な減速には股関節と膝関節の屈曲が必要であると述べている。本研究の結果はこれらの先行研究を支持する結果であり、方向転換を行う直前まで高い進入速度を維持し、方向転換を行う 1 歩前の脚の股関節を短時間で大きく屈曲させることで急激に減速することが素早い方向転換につながることを示唆された。また、このような急激な股関節屈曲や重心速度変位量の変

化がどのような体力要素と関連するか検討したところ、左膝関節屈曲遠心性筋力(60deg/sec、180deg/sec)と左膝関節屈曲求心性筋力(180deg/sec)が重心速度変位量と中程度の有意な負の相関を示した($r = -0.503$ 、 $r = -0.470$ 、 $r = -0.459$ 、 $p < 0.05$)。さらに、左股関節屈曲角度変位量と左膝関節屈曲遠心性筋力(60deg/sec)との間に中程度の有意な正の相関関係が認められた($r = 0.457$ 、 $p < 0.05$)。膝関節屈曲筋群の代表としてはハムストリングスが挙げられる。Neptune et al.(1999)はレクリエーションレベルの成人男性を対象にサイドシャッフル及び 45° カッティングの 2 種類の動作を行わせ、動作中の下肢の筋活動について検討したところ、カッティング動作においてハムストリングスは股関節伸展筋群として遠心性収縮をし、接地中における重心の減速に貢献していたことを報告している。本研究の結果と先行研究結果から考えると、方向転換動作において股関節を深く屈曲させて急激な重心変位をさせること、すなわち急激な減速動作には、ハムストリングスを代表とする膝関節屈曲筋群の遠心性筋力の多寡が影響する可能性が示唆され、筋力が技術要素に影響を与えていることが明らかとなった。

また、重心速度変位量と体幹側屈角度変位量との間に中程度の有意な相関関係が認められた($r = 0.416$ 、 $p < 0.05$)ことから、急激な減速を可能にする要因の一つに体幹側屈変位量を軽減させることが挙げられる。Young et al.(2002)は方向転換能力の決定要因の中の技術要素の一つとして姿勢の調節を挙げているほか、重心をコントロールするための方法として体幹筋の適切な活動による身体動揺のコントロールが挙げられている(Patla et al., 1999)。さらに、Sasaki et al.(2011)は男子大学生サッカー選手を対象に 5m 走からの 180° の方向転換動作を行わせ、全体のタイムと体幹の傾斜角度及び変位量について関係性を検討し、過度な

体幹側屈は方向転換タイムを遅延させる傾向にあったことを報告しており、方向転換時には姿勢を調節し、身体バランスを維持することが求められると述べている。これらの先行研究と本研究の結果から、急激な減速動作中においても体幹を安定させて身体バランスを保つことが素早い方向転換に繋がる可能性が示唆された。

また方向転換速度の向上には減速だけでなく加速の速度向上も重要であり、Shimokochi et al.(2013)は効果的なカッティング動作のためには減速と加速を素早く行う必要があり、そのためには短い時間で進行方向への重心速度を大きくする能力を評価する必要があると述べている。本研究では停止から再加速する際に左脚で蹴り出すものと考えられるが、その離地時の重心速度に対して左膝関節屈曲角度が有意な相関($r=0.449$, $p<0.05$)を示した。すなわち、加速期の重心移動速度が速いほど、左膝の関節角度がより伸展していることを示している。Greig(2009)はサッカー選手を対象にして右足で切り返す 180° の方向転換動作を解析したところ、左足再接地～離地までの間に左膝関節が 60° 近く伸展していたことを報告しており、本研究の結果と合わせると、方向転換後に下肢の関節を伸展させて次の進行方向へと推進力を得ることで新たな方向への再加速を行うことが素早い方向転換に繋がることが推察される。

一方、上述した左足離地時の重心速度に関連する体力要素として、本研究では右膝関節伸展求心性筋力(60deg/sec、180deg/sec)、右膝関節屈曲求心性筋力(60deg/sec)および VJ が中程度の負の相関($r=-0.467$ 、 $r=-0.478$ 、 $r=-0.486$ 、 $r=-0.491$, $p<0.05$)を示した。膝伸展および屈曲筋力と重心変位量との関係について、Jones et al.(2009)は大学生を対象に方向転換スピードと各種体力要素との関係について検討し、方向転換スピードと膝屈曲求心性筋力及び伸展求心性筋力との間の有意な相関

($r = -0.560$, $r = -0.568$, $p < 0.05$) を報告している。また、Neptune, et al.(1999)は離地時に推進力を生み出すために活動する筋群として股関節伸展筋群(ハムストリングス、大殿筋)、膝関節伸展筋群(大腿四頭筋)、足関節底屈筋群(下腿三頭筋)を挙げている。先述のようにハムストリングスは膝屈曲筋群でもあることから、本研究はこれらの先行研究を支持する結果となり、膝関節伸展筋群及び屈曲筋群の求心性の筋力の多寡が再加速局面での重心速度に影響を与える可能性が示唆された。また、VJについて、Jones et al.(2009)は方向転換スピードと垂直跳び高の間に有意な相関関係($r = -0.498$, $p < 0.05$)が見られたことを報告しており、Yanci et al.(2014)は3部リーグに所属する成人サッカー選手を対象に方向転換スピードと垂直跳び及び立ち幅跳びとの関係について検討したところ、どちらも方向転換スピードとの間に有意な相関関係($r = -0.470$, $r = 0.380$, $p < 0.05$)が見られたことを報告している。一方で5m×2の説明変数として抽出された項目の内、VJとの相関が見られたのは左足離地時の重心速度のみであることから、これまでの先行研究で示されてきた求心性筋力やパワーといった体力要素は、再加速時における大きな重心速度の獲得に影響していることが示唆された。また、これまでの先行研究はいずれも成人を対象としたものであり、成長期における情報が不足していたが、本研究の結果より、成人でも見られた方向転換動作の特徴が成長期でも見られることが明らかとなった。

一方、本研究の限界として、重回帰分析における5m×2に影響を与える2つの技術要素の寄与率(左足接地～停止での重心速度変位量、左足離地時重心速度)は40%であった。言い換えると、その他の60%は技術要素以外の要素が影響していることを示している。Young et al.(2002)が述べるように、方向転換能力の決定要因には技術要素の他にスピード

や筋力、パワーといった体力要素が挙げられる。本研究では重回帰分析を行う際の独立変数に筋力やパワーといった体力要素を含んでおらず、スピードについても検討を行っていないことから、これらの要素も 5m×2 に寄与した可能性が考えられる。また、本研究は室内で行われたものであり、シューズも室内用のトレーニングシューズを用いた。一方、サッカーは屋外の芝あるいは土のグラウンドにてスパイクを着用して行われるものであり、このような環境要因の違いが動作に影響を与える可能性についても検討する必要がある。加えて、本研究では筋電図を用いた筋活動の検討やキネティクスの検討を行っていないため、方向転換動作について更なる理解を深めるためにこれらについても検討を行う必要がある。

3. 研究 2：成長期サッカー選手の方向転換能力発達要因の検討

3-1 目的

サッカーにおいて、方向転換動作は多くの局面において必要となる動作であり、その数は 1 試合で 700 回以上とも言われている (Bloomfield et al., 2007)。また、競技力の選手は高い方向転換能力を有していたことも報告されており (Gravina et al., 2008, Kaplan et al., 2009, Mirkov et al., 2010)、方向転換能力はサッカーの競技力に影響する要素の一つであると言える。

方向転換能力の決定要因について、Young et al.(2002)は筋力、パワー、反応筋力といった体力要素に加え、身体の傾きと姿勢、加速と減速のためのストライド調整、足の位置といった技術要素を挙げている。これまで、体力要素と方向転換能力の関係性については多くの研究がなされている一方、技術要素については方向転換動作中のキネマティクスやキネティクスについて検討したものが多く、方向転換能力との関係性については情報が不足していた。研究 1 において、成長期サッカー選手を対象に右足で切り返す 180° の方向転換動作を行わせ、トータルタイムと技術要素との関係性及び技術要素に影響を与える要素について検討したところ、左足接地から停止までの重心速度変位量及び左足離地時の重心速度が説明変数として抽出され、これに対しては左股関節屈曲角度変位量といった技術要素の他に膝関節屈曲伸展の筋力の多寡や下肢伸展パワーといった体力要素が影響する可能性が示唆された。

一方で方向転換能力は 11 歳～15 歳といった成長期において大きく向上することが示されている (Condello et al., 2013, Hirose and Seki, 2015)。近年では成長期における成熟段階に合わせたトレーニングの必要性が示されており (Bergeron et al., 2015)、成熟度の評価のために様々

な生物学的評価指標が用いられている。その中の一つに BTT 法を用いた最大身長増加速度年齢(Peak Height Velocity Age：以下 PHVA)があり、日本人においても高い信頼性を得ている(Ali and Ohtsuki, 2001)。PHVA と方向転換能力との関係性について、Phillipaerts et al.(2005)は方向転換能力の向上が PHVA の 12 ヶ月前から徐々に大きくなり、PHVA の時期にピークを迎えることを報告しており、方向転換能力の発達と PHVA との関連性が示唆されている。方向転換能力の決定要因には先述のように複数の体力要素や技術要素があり、これらの体力要素は最も発達が見られる成熟段階が異なっていること(Phillipaerts et al., 2005)や、技術要素についても成長に伴い動作が変わることが報告されている(Condello et al., 2013, 星川ら, 2015)が、これらのどの要素が成長期における方向転換能力の発達に貢献しているかは未だ明らかでない。また、技術要素の面から方向転換能力の発達について検討したものについても未だ存在しない。

上記のことから、本研究では成長期男子サッカー選手を対象として、BTT 法を用いて算出した PHVA を基準とする 3 つの成熟段階における方向転換能力の発達を技術的な面から比較し、それに貢献する因子を成長段階ごとに明らかにし、成熟段階に応じた適切な方向転換能力トレーニングを考案する一助とすることを目的として行う。

3-2 方法

3-2-1 対象

対象は健常な男子中学生サッカー選手 54 名であった。対象者は研究 1 の対象者と同様のチームに所属しており、一定以上の競技レベルを有している。フィールドプレイヤーと比較して活動量が少なく、通常の練習の中でも異なるトレーニングを行うというポジションの特性を考慮し、ゴールキーパーの選手は対象外とした。また、利き足による影響を取り除くために左利きの選手も同様に対象外とした。対象者の保護者宛に事前に調査票を配布し、後述の方法で PHVA を算出した。算出した PHVA を元に、第 1 回の測定時の年齢と PHVA の差が -0.5 歳未満の対象者を Pre PHVA 群(以下 Pre 群)7 名、 -0.5 歳以上 0.5 歳以下の対象者を Middle PHVA 群(以下 Mid 群)19 名、 1.0 歳以上の対象者を Post PHVA 群(以下 Post 群)14 名に分類し、基準に当てはまらなかった 14 名を除外した(表 2-1)。測定は 2015 年 11 月(以下 2015)と 2016 年 11 月(以下 2016)の計 2 回行い、傷害等の理由によって 2 回の測定いずれかへの参加が困難となった 15 名を対象から除外し、最終的な対象者は 25 名(Pre 群：7 名，Mid 群：10 名，Post 群：8 名)となった。各群の記述統計を表 2-2～表 2-3 に示した。対象者並びに保護者には実験を行う前に事前に内容について説明をし、本研究への参加の同意を得た。なお、本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を得て実施した(承認番号：2015-226)。

表 2-1 PHVA による群分け基準

初回測定時年齢<PHVA-0.5	Pre群 7名
PHVA-0.5≤初回測定時年齢≤PHVA+0.5	Mid群 10名
PHVA+0.5<初回測定時年齢<PHVA+1.0	除外
PHVA+1.0≤初回測定時年齢	Post群 8名

表 2-2 被験者の身体的特徴(2015)

		n	Mean ± SD
Age(year-old)	Pre	7	12.7±0.5
	Mid	10	13.1±0.5
	Post	8	13.9±0.3 ^{ab}
Age-PHVA (year-old)	Pre	7	-1.3±0.4
	Mid	10	-0.1±0.2 ^a
	Post	8	1.9±0.3 ^{ab}
Height(cm)	Pre	7	147.8±4.1
	Mid	10	160.5±5.8 ^a
	Post	8	165.5±3.5 ^a
Weight(kg)	Pre	7	37.5±4.7
	Mid	10	47.7±6.5 ^a
	Post	8	56.4±3.9 ^{ab}
Leg length(cm)	Pre	7	68.0±2.5
	Mid	10	75.0±4.2 ^a
	Post	8	77.0±1.8 ^a

a: Significant different than Pre

b: Significant different than Mid

表 2-3 被験者の身体的特徴(2016)

		n	Mean $\pm$ SD
Age(year-old)	Pre	7	13.6 $\pm$ 0.5
	Mid	10	14.1 $\pm$ 0.5
	Post	8	14.9 $\pm$ 0.3 ^{ab}
Height(cm)	Pre	7	154.8 $\pm$ 3.7
	Mid	10	166.3 $\pm$ 5.0 ^a
	Post	8	167.6 $\pm$ 3.7 ^a
Weight(kg)	Pre	7	44.6 $\pm$ 7.0
	Mid	10	53.6 $\pm$ 5.6 ^a
	Post	8	61.0 $\pm$ 4.7 ^{ab}
Leg length(cm)	Pre	7	75.4 $\pm$ 3.9
	Mid	10	78.2 $\pm$ 4.3
	Post	8	77.4 $\pm$ 1.2

a: Significant different than Pre

b: Significant different than Mid

3-2-II 測定項目

本研究では以下の項目について測定を行った。

- ・身体的項目：除脂肪量，等速性筋力，垂直跳び，関節可動域
- ・技術的項目：方向転換動作解析項目
- ・PHVA

尚、身体的項目（除脂肪体重、等速性筋力、垂直跳び、関節可動域）および技術的項目（方向転換動作課題および動作解析項目）の測定方法と解析方法は研究 1 に準じた。

(1) PHVA

群分けの際に用いる基準として対象者の PHVA を測定した。対象者の保護者宛に事前に調査票を配布し、対象者の生年月日及び学校の健康記録を参照に小学校在籍時の身長を 5 つ以上記載してもらい、対象者の過去の身長データを取得した。取得したデータから表計算ソフトウェア (Microsoft Excel 2010、Microsoft 社製、USA) を用いて対象者の身長及び暦年齢を算出し、専用のソフトウェア (Auxal 2.0.1、Bock et al、USA) を用いて BTT 法で対象者の PHVA を算出した。

3-2-III 統計

測定結果は平均値±標準偏差で表示した。

5m×2 及び身体的項目について、統計用解析ソフトウェア (SPSS Statistics 22、IBM 社、USA) を用いて、2015 と 2016 における 3 群間の比較には反復測定による二元配置分散分析 (測定時期×PHVA による群分け：2×3) を用いた。交互作用が認められた場合、事後検定として Bonferroni の多重比較検定を行った。また、交互作用が認められず、測定時期のみに有意な主効果を認めた場合、対応のある t 検定を行った。

二元配置分散分析によって 5m×2 に有意な差が見られた群について、全ての測定項目において 2 回の測定における変化量 (2016-2015) を算出し、統計用解析ソフトウェア (SPSS Statistics 22、IBM 社、USA) を用いて、5m×2 の変化量と全ての技術的項目の変化量との関係性について、Pearson の積率相関係数を用いて検討した。その中で $p<0.05$ かつ $r>|0.4|$ の項目を抽出し、5m×2 変化量を従属変数、抽出された技術的項目変化量を独立変数としたステップワイズ法による重回帰分析を各群で行った。重回帰分析の結果抽出された説明変数に関連する技術的項目

変化量及び身体的項目変化量との関係性を Pearson の積率相関係数を用いて検討し、 $p < 0.05$ かつ $r > |0.4|$ のものを抽出した。

いずれの統計手法においても統計的有意水準は危険率 5%未満とした。

3-3 結果

3-3-1 身体的測定項目

表 2-1～表 2-6 に 5m×2 及び身体的測定項目の結果を示す。二元配置分散分析の結果、5m×2 において測定時期の主効果のみが認められ、Pre 群と Mid 群において有意にタイムが向上した ($p<0.01$)。左股関節屈曲 ROM において測定時期の主効果のみが認められ、Pre 群において有意に ROM が低下した ($p<0.05$)。体幹除脂肪量において測定時期の主効果のみが認められ、3 群全てにおいて有意に向上した ($p<0.01$)。左下肢除脂肪量 ($F=6.09$, $p=0.008$) 及び右下肢除脂肪量において有意な交互作用が認められたため ($F=6.35$, $p=0.007$)、水準ごとの単純主効果を検討したところ、群間及び測定時期に有意な単純主効果が認められた。多重比較検定の結果、全ての群で 2016 において有意に除脂肪量が増加し、Post 群は他の 2 群より有意に除脂肪量が多く、Mid 群は Pre 群より有意に除脂肪量が多かった。右膝関節屈曲求心性筋力 60deg/sec において測定時期の主効果のみが認められ、Pre 群において有意に向上した ($p<0.05$)。右膝関節伸展遠心性筋力 180deg/sec において測定時期の主効果のみが認められ、Pre 群において有意に向上した ($p<0.05$)。右膝関節伸展求心性筋力 180deg/sec において測定時期の主効果のみが認められ、Pre 群において有意に向上した ($p<0.05$)。左膝関節屈曲遠心性筋力 60deg/sec において測定時期の主効果のみが認められ、Mid 群において有意に低下した ($p<0.01$)。左膝関節伸展遠心性筋力 180deg/sec において、交互作用が認められたため ($F=3.89$, $p=0.036$)、水準ごとの単純主効果を検討したところ、測定時期に有意な単純主効果が認められ、Post 群は 2016 において有意に低下した ($p<0.01$)。左膝関節屈曲遠心性筋力 180deg/sec において測定時期の主効果のみが認められ、Post 群において有意に低下した

($p<0.05$)。その他の項目において、有意な交互作用及び主効果は認められなかった。

表 2-1 運動パフォーマンス及び関節可動域変化

	PHVA	n	2015	2016	Δ 2016-2015
5m×2(sec)	Pre	7	3.06±0.11	2.88±0.11**	-0.18±0.07
	Mid	10	3.04±0.15	2.87±0.09**	-0.16±0.16
	Post	8	2.96±0.06	2.88±0.10	-0.08±0.15
VJ(cm)	Pre	7	26.6±3.4	27.5±2.3	0.86±3.4
	Mid	10	25.4±3.5	25.8±4.2	0.47±3.7
	Post	8	29.5±3.6	30.4±5.0	0.89±3.3
Right hip Flex ROM(deg)	Pre	7	113.9±8.0	109.4±13.5	-4.4±9.2
	Mid	10	114.5±5.7	114.2±5.8	-2.1±3.9
	Post	8	113.1±6.3	111.8±11.4	-1.4±10.6
Left hip Flex ROM(deg)	Pre	7	117.8±10.0	108.7±12.2**	-9.2±9.6
	Mid	10	114.7±8.6	115.3±4.7	-1.9±7.7
	Post	8	113.6±6.5	108.7±11.4	-4.8±5.8
*:Significant different than 2015 $p<0.05$					
**:Significant different than 2015 $p<0.01$					
Flex : Flexion					

表 2-2 除脂肪量

	PHVA	n	2015	2016	Δ 2016-2015
Trunk LBM (kg)	Pre	7	13.4±1.4	16.2±2.1**	2.8±1.2
	Mid	10	18.1±2.2	20.6±2.1**	2.4±1.1
	Post	8	22.0±1.5	23.5±1.7**	1.4±0.7
Left Leg LBM (kg)	Pre	7	5.1±0.6	6.4±0.9**	1.0±0.5
	Mid	10	6.8±0.7 ^a	7.6±0.7 ^{a**}	0.8±0.3
	Post	8	8.2±0.6 ^{ab}	8.6±0.5 ^{ab**}	0.4±0.2
Right Leg LBM (kg)	Pre	7	5.3±0.6	6.4±0.7**	1.1±0.3
	Mid	10	7.0±0.7 ^a	7.7±0.7 ^{a**}	0.8±0.3
	Post	8	8.4±0.6 ^{ab}	8.9±0.6 ^{ab**}	0.4±0.3
a: Significant different than Pre					
b: Significant different than Mid					
*:Significant different than 2015 $p<0.05$					
**:Significant different than 2015 $p<0.01$					

表 2－3 右膝關節等速性筋力 60deg/sec (%BW)

	PHVA	n	2015	2016	Δ 2016－2015
Right Knee Ext Con 60 (%BW)	Pre	7	186.5±20.4	195.9±22.5	9.4±25.6
	Mid	10	202.6±20.2	213.2±20.8	11.3±22.7
	Post	8	220.7±37.0	230.2±38.6	9.5±50.1
Right Knee Flex Con 60 (%BW)	Pre	7	106.9±12.4	119.5±15.3*	12.6±9.2
	Mid	10	117.9±17.1	118.0±24.9	0.08±18.3
	Post	8	127.8±18.2	134.2±12.0	6.32±10.4
Right Knee Ext Ecc 60 (%BW)	Pre	7	190.1±29.6	230.5±36.7*	40.4±40.2
	Mid	10	234.2±61.5	265.4±50.3	30.0±63.5
	Post	8	266.1±35.4	300.3±43.4	34.3±42.6
Right Knee Flex Ecc 60 (%BW)	Pre	7	144.6±29.7	166.0±30.8	21.47±24.6
	Mid	10	178.2±22.7	169.4±31.0	-9.7±34.9
	Post	8	188.7±27.6	179.5±23.9	-9.2±24.3

*:Significant different than 2015 p<0.05

**:Significant different than 2015 p<0.01

Ext : Extension, Flex : Flexion

Con : Concentric Contraction Ecc : Eccentric Contraction

表 2－4 右膝關節等速性筋力 180deg/sec(%BW)

	PHVA	n	2015	2016	Δ 2016－2015
Right Knee Ext Con 180 (%BW)	Pre	7	151.4±8.7	166.8±19.0*	15.4±14.2
	Mid	10	150.4±11.3	160.7±16.6	10.1±16.4
	Post	8	172.2±10.5	177.6±15.8	5.3±14.8
Right Knee Flex Con 180 (%BW)	Pre	7	106.9±12.4	119.5±15.3	1.1±8.1
	Mid	10	117.9±17.1	118.0±24.9	5.0±16.4
	Post	8	127.8±18.2	134.2±12.0	5.2±11.6
Right Knee Ext Ecc 180 (%BW)	Pre	7	190.1±29.6	218.5±36.0	16.4±42.0
	Mid	10	234.2±61.5	238.9±28.8	67.4±15.5
	Post	8	266.1±35.4	257.9±59.7	-10.6±45.3
Right Knee Flex Ecc 180 (%BW)	Pre	7	144.6±29.7	163.9±18.0	14.4±22.6
	Mid	10	178.2±22.7	164.3±24.1	-8.4±27.1
	Post	8	188.7±27.6	162.3±31.3	-7.0±36.6

*:Significant different than 2015 p<0.05

**:Significant different than 2015 p<0.01

表 2-5 左膝関節等速性筋力 60deg/sec(%BW)

	PHVA	n	2015	2016	Δ 2016-2015
Left Knee Ext Con 60 (%BW)	Pre	7	199.0 $\pm$ 47.6	180.7 $\pm$ 25.3	-18.3 $\pm$ 43.6
	Mid	10	205.7 $\pm$ 30.6	207.5 $\pm$ 31.2	-1.0 $\pm$ 24.4
	Post	8	255.3 $\pm$ 45.0	224.7 $\pm$ 49.7	-30.6 $\pm$ 50.1
Left Knee Flex Con 60 (%BW)	Pre	7	111.3 $\pm$ 21.4	109.9 $\pm$ 17.6	-1.3 $\pm$ 15.8
	Mid	10	109.2 $\pm$ 22.7	115.8 $\pm$ 15.8	2.3 $\pm$ 16.6
	Post	8	119.0 $\pm$ 16.9	121.8 $\pm$ 17.6	2.8 $\pm$ 20.2
Left Knee Ext Ecc 60 (%BW)	Pre	7	217.1 $\pm$ 61.4	191.5 $\pm$ 22.6	-25.6 $\pm$ 70.3
	Mid	10	265.8 $\pm$ 62.4	257.8 $\pm$ 51.2	-16.5 $\pm$ 44.6
	Post	8	347.5 $\pm$ 56.7	284.2 $\pm$ 67.7	-63.3 $\pm$ 73.0
Left Knee Flex Ecc 60 (%BW)	Pre	7	166.9 $\pm$ 62.6	153.4 $\pm$ 14.0	-13.5 $\pm$ 61.2
	Mid	10	178.7 $\pm$ 36.7	159.3 $\pm$ 26.5**	-26.1 $\pm$ 25.9
	Post	8	200.4 $\pm$ 28.6	179.2 $\pm$ 32.7	-21.2 $\pm$ 38.3

*:Significant different than 2015 p<0.05

**:Significant different than 2015 p<0.01

表 2-6 左膝関節等速性筋力 180deg/sec(%BW)

	PHVA	n	2015	2016	Δ 2016-2015
Left Knee Ext Con 180 (%BW)	Pre	7	155.0 $\pm$ 23.2	153.1 $\pm$ 11.8	-2.0 $\pm$ 20.6
	Mid	10	153.6 $\pm$ 17.5	159.1 $\pm$ 19.9	7.9 $\pm$ 16.6
	Post	8	183.9 $\pm$ 13.4	184.2 $\pm$ 25.0	0.3 $\pm$ 23.7
Left Knee Flex Con 180 (%BW)	Pre	7	97.4 $\pm$ 18.5	92.6 $\pm$ 8.0	-4.8 $\pm$ 15.7
	Mid	10	94.7 $\pm$ 19.4	89.4 $\pm$ 12.6	-8.4 $\pm$ 15.1
	Post	8	113.5 $\pm$ 19.8	104.0 $\pm$ 17.4	-9.4 $\pm$ 21.4
Left Knee Ext Ecc 180 (%BW)	Pre	7	228.6 $\pm$ 76.4	179.9 $\pm$ 13.2	-48.7 $\pm$ 83.6
	Mid	10	249.0 $\pm$ 52.7	250.3 $\pm$ 46.5	-3.5 $\pm$ 43.5
	Post	8	346.6 $\pm$ 66.5	255.4 $\pm$ 62.0**	-91.2 $\pm$ 60.7
Left Knee Flex Ecc 180 (%BW)	Pre	7	182.2 $\pm$ 55.5	152.4 $\pm$ 22.6	-29.8 $\pm$ 53.5
	Mid	10	169.0 $\pm$ 36.6	149.8 $\pm$ 29.0	-27.9 $\pm$ 41.3
	Post	8	210.1 $\pm$ 34.8	161.3 $\pm$ 23.1*	-48.8 $\pm$ 37.6

*:Significant different than 2015 p<0.05

**:Significant different than 2015 p<0.01

3-3-II 重回帰分析及び相関分析

5m×2 に有意な向上が見られた Pre 群及び Mid 群において、5m×2 向上に影響した因子を抽出するために相関分析及び重回帰分析を行った。

Pre 群において相関分析の結果、左足接地時重心速度($r=-0.817$)、左接地～停止での重心高変位量($r=0.836$)の 2 項目において有意な相関関係が見られた($p<0.05$)。表 2-17 にこれらの 2 つの項目を独立変数とし、ステップワイズ法を用いた重回帰分析の結果を示した。重回帰分析の結果、5m×2 の変化量に関係する因子として、左足接地～停止での重心高変位量が抽出された。表 2-18 には重回帰分析で抽出された説明変数と同時点におけるその他の技術的測定項目及び身体的測定項目との間の相関係数をそれぞれ示した。左足接地～停止での重心高変位に対しては、右膝関節屈曲遠心性筋力 60deg/sec($r=-0.800$)との間に有意な強い負の相関関係を、重心速度変位量($r=0.776$)との間に有意な強い正の相関関係を示した($p<0.05$)。

表 2-17 Pre 群重回帰分析結果

$R^2=0.64, ANOVA<0.05$	B=	$\beta=$	p=
Invariable	-0.178		0.000
COG Height Left FC ~ Stop	0.374	0.836	0.019

FC : foot-contact, FO : foot-off

R^2 : 自由度調整済決定係数

表 2-18 左足接地～停止での重心高変位に対する他項目の相関係数

(a) 60deg/sec 筋力 (b) 180deg/sec 筋力

(c) その他身体的項目 (d) 技術的項目

(a)

R KE Con 60	R KF Con 60	R KE Ecc 60	R KF Ecc 60	L KE Con 60	L KF Con 60	L KE Ecc 60	L KF Ecc 60
-.428	-.686	-.591	-.800*	-.520	-.333	-.546	-.503

(b)

R KE Con 180	R KF Con 180	R KE Ecc 180	R KF Ecc 180	L KE Con 180	L KF Con 180	L KE Ecc 180	L KF Ecc 180
-.580	.056	-.085	-.668	-.611	-.509	-.443	-.295

(c)

R Hip Flex ROM	L Hip Flex ROM	VJ	Trunk LBM	Left Leg LBM	Right Leg LBM
-.328	-.314	-.607	.472	.392	.637

(d)

LHF	LHA	LHER	LKF	LAD	CGV	CGYF	TFI	TLI	TR
-.436	-.137	-.142	-.123	-.221	.776*	.181	-.181	.215	-.057

** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

KE : Knee Extension, KF : Knee Flexion
LHF : Left Hip Flexion angle
LHA : Left Hip Abduction angle
LHER : Left Hip External Rotation angle
LKF : Left Knee Flexion angle
LAD : Left Ankle Dorsiflexion angle
CGV : Center of Gravity Velocity
CGYF : Center of Gravity Y fluctuation
TFI : Trunk Forward Inclination angle
TLI : Trunk Lateral Inclination angle
TR : Trunk Rotation angle

Mid 群において相関分析の結果、右足離地時左足関節背屈角度($r=-0.643$)、左足接地～停止での左膝関節屈曲角度変位($r=-0.642$)、重心速度変位($r=0.813$)の3項目において有意な相関関係が見られた($p<0.05$)。表2-19にこれら3つの項目を独立変数とし、ステップワイズ法を用いた重回帰分析の結果を示した。重回帰分析の結果、5m×2変化量に関する因子として、左足接地～停止での重心速度変位量が抽出された。表2-20には重回帰分析で抽出された説明変数とその他の技術的測定項目及び身体的測定項目との間の相関係数をそれぞれ示した。左足接地～停止での重心速度変位量に対して、左膝関節屈曲角度変位量($r=-0.756$)及び左足関節背屈角度変位量($r=-0.879$)との間に有意な強い相関関係を示した($p<0.05$)。

表 2-19 Mid 群重回帰分析結果

$R^2=0.619, \text{ANOVA}<0.01$	B=	$\beta=$	p=
Invariable	-0.130		0.004
COG Velocity Left FC ~ Stop	0.000	0.813	0.004

FC : foot-contact, FO : foot-off

R^2 : 自由度調整済決定係数

表 2-20 左足接地～停止での重心速度変位量に対する他項目の相関係

数

(a) 60deg/sec 筋力 (b) 180deg/sec 筋力

(c) その他身体的項目 (d) 技術的項目

(a)									
R KE Con 60	R KF Con 60	R KE Ecc 60	R KF Ecc 60	L KE Con 60	L KF Con 60	L KE Ecc 60	L KF Ecc 60		
-.301	.498	-.551	.292	-.308	-.515	-.112	-.387		
(b)									
R KE Con 180	R KF Con 180	R KE Ecc 180	R KF Ecc 180	L KE Con 180	L KF Con 180	L KE Ecc 180	L KF Ecc 180		
-.205	.062	-.492	-.296	-.257	-.274	-.417	-.033		
(c)									
R Hip Flex ROM	L Hip Flex ROM	VJ	Trunk LBM	Left Leg LBM	Right Leg LBM				
-.347	-.590	.220	-.031	-.009	.015				
(d)									
LHF	LHA	LHER	LKF	LAD	CGH	CGYF	TFI	TLI	TR
-.181	.455	-.430	-.756*	-.879**	.293	.151	-.538	.347	.482

** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

CGH : Center of Gravity Height

3-4 考察

本研究では成長期男子サッカー選手を対象に、PHVAを基準とする3つの成熟段階における方向転換能力の発達を比較し、それに貢献する因子を重回帰分析及び相関分析を用いて成熟段階ごとに明らかにした。二元配置分散分析の結果、Pre群とMid群、すなわちPHVA前とPHVA中において5m×2の有意な向上が認められた一方で、Post群においては5m×2の有意な向上が見られなかった。Pre群においては左足接地～停止での重心高変位量が、Mid群においては左足接地～停止での重心速度変位量がそれぞれ方向転換トータルタイム向上の説明変数として抽出された。

3-4-I 5m×2について

二元配置分散分析の結果、Pre群とMid群においては1年間で5m×2の有意な向上が見られたが、Post群においては有意な向上が見られなかった。Phillipaerts et al.(2006)は10～13歳の男子サッカー選手を対象に体力テストの測定を5年間行い、算出したPHVAと種々の体力要素の発達との関係性について検討したところ、方向転換能力(10m×5テスト)はPHVAの12ヶ月前から変化量の増加が見られ、PHVAの時期に最も大きく向上したこと、その後12ヶ月で変化量は徐々に減少していき、PHVAの12ヶ月後の時点では向上が見られなくなることを報告している。また、Condello et al.(2013)はイタリア人成長期ラグビー選手をU9, U11, U13, U15, U17, U19の6つの群に分け、15°の方向転換を伴う15m走のタイムを比較したところ、方向転換走の発達は直線的でなく、U11からU13の間で大きく向上する一方、U15からU17の間では低下が見られたと報告している。日本人のPHVAは欧米人よりも1～1.5歳程速

く、男性で 12.6～12.8 歳であることが報告されており (Ali et al., 2004)、これを踏まえると Condello et al.(2013)の研究においては対象者の PHVA が 13～14 歳程であったことが推察され、方向転換能力が PHVA の前の時期に大きく向上し、PHVA の後の時期では向上が見られなかったことが考えられる。本研究はこれらを支持する結果となり、方向転換能力は PHVA の前及び PHVA の時期に大きく発達し、その後は発達による向上が見られなくなることが示された。

3-4-II Pre 群の方向転換能力発達要因

Pre 群においては有意な $5m \times 2$ の向上が見られ、重回帰分析の結果、 $5m \times 2$ の変化量の説明変数として左足接地～停止での重心高変位量の変化量が抽出された。これに対しては重心速度変位量との間に有意な強い正の相関関係が、右膝関節屈曲遠心性筋力 60deg/sec との間に有意な強い負の相関関係を示した。Shimokochi et al.(2013)は、女性バスケットボール選手を対象に、サイドステップからのカッティング動作を行わせ、方向転換の速さを示す指標 (LCindex) と重心高、関節角速度、床反力との間の関係性について回帰分析を用いて検討したところ、接地時の重心高が LCindex の説明変数として抽出されたことを報告しており、方向転換動作中に低い重心を保つことが素早い方向転換につながると述べている。方向転換動作中には身体のバランスを保ち (Sasaki et al., 2011)、安定性を高める (Greig, 2009) 必要があり、重心を低くすることで安定性が増す (Sayers, 2000, Sheppard and Young, 2006)。本研究において左足接地～停止における重心高変位量と重心速度変位量との間に有意な相関関係が認められたことから、減速期において急激に重心を下げることで、安定した状態で急激な減速ができるようになったことが方向転換スピー

ドの向上につながったことが推察される。また、Greig(2009)は右足での180°の方向転換時における右足は身体の勢いを止める役割を果たしていることを述べており、カッティング動作におけるハムストリングスの役割が重心の減速であることから(Neptune et al., 1999)、右膝関節屈曲遠心性筋力が高まったことで減速期最後の局面において急激に重心を低下させることができるようになったことが方向転換能力の発達につながったものと推察される。Bassa et al.(2001)はギリシャの6～12歳の少年を対象に体重で正規化した膝関節伸展求心性及び遠心性筋力について3つの角速度(45deg/sec, 90deg/sec, 180deg/sec)で測定をし、各年齢間の比較を行ったところ、求心性及び遠心性筋力においてどの角速度でも年齢の主効果が認められ、年齢差が2歳以上の群に対して有意な差が認められたことを報告している。本研究の対象者は先行研究よりも年齢がやや高いものの、欧米人のPHVAが13歳～14歳頃であることから(Bogin et al., 1990, Byard et al., 1993, Ledford and Cole, 1998)、いずれの研究においても対象者がPHVAを迎える前の成熟段階であるという点で共通することが推察される。筋力の発達は成長期の後半により大きいことや(Kanehisa et al., 1995)、Pre-PHVAにおける筋力トレーニングの効果は小さいことが報告されている(Meylan et al., 2014)ことから、筋力の発達のピークはより後半の成熟段階にあることが示されるが、成熟段階の早期においても発達は見られることが示唆される。

3-4-III Mid群の方向転換能力発達要因

Mid群においては5m×2の有意な向上が見られ、重回帰分析の結果、5m×2の変化量の説明変数として左足接地～停止での重心速度変位量の

変化量が抽出された。これに対しては左膝関節屈曲角度変位量及び左足関節背屈角度変位量との間に有意な強い負の相関関係を示した。

Neptune et al.(1999)はカッティング中の下肢の筋活動と立脚中のキネマティクスについて検討したところ、カッティング中において足関節底屈筋群が減速時のエネルギー吸収の役割を果たしていること、足関節背屈のピークが立脚中期に現れたことを報告している。また、Havens and Sigward(2015)は成人サッカー選手を対象に 45° 及び 90° のカッティング動作時のキネティクスについて検討したところ、足関節底屈筋群のピークモーメントが減速フェーズの最終域で現れたことを報告しており、減速局面における足関節の貢献を示している。さらに Greig(2009)は男性サッカー選手を対象に 180° の方向転換動作の動作解析を行い、膝関節屈曲の増加によって減速をコントロールしていること、方向転換を行う 1 歩前の脚で減速動作を完了させていたことを報告している。別の研究においても急激な減速時には膝関節屈曲角度が増加することが報告されており(Mclean et al., 2004)、これらのことから方向転換動作においては膝関節の屈曲と足関節の背屈によって重心を減速させることが必要であることが示唆される。本研究はこれらの先行研究に準ずる結果となり、減速局面において膝関節の屈曲と足関節の背屈が大きく行われるようになったことが 5m×2 の向上につながったことが推察される。一方、研究 1 において急激な減速には方向転換を行う 1 歩前の脚での股関節の屈曲及びそれを行うための膝関節屈曲遠心性筋力の多寡が影響することが示されており、Pre 群においても重心変位量に膝関節屈曲遠心性筋力の発達に関連していることが示されているが、Mid 群においては膝関節屈曲遠心性筋力の発達は関連せず、足関節及び膝関節のキネマティクスの変化のみが影響するという結果となった。すなわち、Mid 群にお

いては重心速度変位量の変化に体力要素は影響しないという結果となり、研究 1 及び Pre 群とは異なる結果となった。この要因として、本研究では左膝関節屈曲遠心性筋力 60deg/sec は有意に低下しており、膝関節屈曲遠心性筋力の低下によるハムストリングス/大腿四頭筋比(以下 H/Q 比)の低下が認められており、この変化が影響しているものと考えられる。

Kanehisa et al.(1995)は 7 歳～18 歳の男子を対象に膝関節屈曲・伸展の等速性筋力とこれらの筋横断面積を測定し、3 歳ごとに区切った 4 つのグループで比較をしたところ、筋横断面積当たりの筋力において膝関節伸展筋群では年齢に応じて有意に高値を示している一方、膝関節屈曲筋群においては 10 歳～12 歳のグループと 13 歳～15 歳のグループとの間に有意な差が見られなかったことを報告している。すなわち、13 歳～15 歳のグループにおいては相対的な膝関節屈曲筋群の筋力が低下しており、10 歳～12 歳のグループにおける H/Q 比よりも 13 歳～15 歳のグループにおける H/Q 比は低下していることが推察される。本研究においても体重当たりの膝関節伸展遠心性筋力は 2015 と 2016 の 2 回の測定で有意な差が見られなかった一方で膝関節屈曲遠心性筋力は有意な低下が見られていることから、Mid 群においては H/Q 比が低下し、結果として大腿四頭筋優位の動作に変化したことが推察される。カッティング動作において、立脚期中の膝関節屈曲角度の増加と膝関節伸展筋群の活動の増加はほとんど一致したという報告もあることから(Neptune et al., 1999)、相対的に大腿四頭筋有意となったことが膝関節屈曲角度変位量の増加というキネマティクスの変化として現れたことが推察される。また、筋力低下に伴う股関節屈曲での減速能力の低下による他関節の代償として、足関節背屈角度変位量の増加が見られた可能性が考えられる。Havens and Sigward(2015)は 90° のカッティング動作時には膝関節が矢状面での減

速に最も貢献している一方で、着地時に股関節伸展筋群の活動が起こることによって矢状面上での膝関節への負担を減少させると述べている。膝関節への負担の増加は、Osgood-Schlatter 病といった成長期特有の骨端線障害(Stein and Micheli, 2010)を引き起こす可能性が考えられることから、本研究における膝関節屈曲角度変位量の増大が 5m×2 の向上に繋がったことが推察される一方で、股関節の屈曲を高めることが膝関節への負担軽減による傷害予防とパフォーマンス向上に対して効果的となる可能性が考えられる。

3-4-IV Post 群の方向転換能力と体力因子の関係

Post 群においては 5m×2 の有意な向上が見られなかった。また、左膝関節伸展及び屈曲遠心性筋力 180deg/sec において、有意な低下が見られた。膝関節伸展筋群の代表として大腿四頭筋が挙げられ、膝関節屈曲筋群の代表にはハムストリングスが挙げられる。Neptune et al.(1999)はカッティング動作中の下肢の筋活動について検討したところ、カッティング動作において大腿四頭筋とハムストリングスは遠心性収縮をし、接地中における重心の減速に貢献していたことを報告している。また、Colby et al.(2000)は成人男女を対象に、8m の直線走からの 2 方向のカッティング動作及び減速動作を行わせ、その際の下肢の筋活動について検討したところ、カッティング動作及び減速動作において立脚中の膝関節屈曲局面で大腿四頭筋の活動が急激に高まったことを報告している。これらのことから、方向転換動作における減速局面では大腿四頭筋やハムストリングスといった筋群の遠心性の活動が起こっており、研究 1 の結果からもこれらの遠心性筋力の多寡が方向転換能力に影響することが考えられる。以上のことから、本研究においては膝関節屈曲及び伸展の

遠心性筋力が低下していたことで、体重の増加に対する減速能力が向上しなかったことが 5m×2 の向上に繋がらなかった可能性が示唆される。遠心性筋力の低下について、Seger and Thorstensson(2000)は膝関節伸展の求心性及び遠心性筋力を異なる 3つの角速度(45deg/sec, 90deg/sec, 180deg/sec)で 11 歳の時点と 16 歳の時点において測定し、その変化について検討したところ、男子において遠心性筋力はどの角速度においても 16 歳の時点で有意に増加していたことを報告している。また、Bassa et al.(2001)は年齢の増加に伴う遠心性筋力の増加を報告しており、本研究は、これらの先行研究とは異なる結果となった。先行研究において、筋力発達の要因として挙げられているのが神経筋システムの改善による筋活動の増加(Seger and Thorstensson, 2000)と随意的に筋活動を高める能力の発達(Bassa et al., 2001, Belanger and McComas, 1989)であり、これらの影響を受けて遠心性筋力の低下が起こった可能性も考えられるが、本研究では筋活動の測定を行っていないため、これについての検討を行うことができない。従って、PHVA を過ぎた選手においては発達のみでは遠心性筋力が低下する可能性が示唆されたが、その発達上のメカニズムについては本研究では明らかにすることができなかった。

Meylan et al.(2014)は 11 歳～15 歳の男子を算出した PHVA を基に Pre-PHVA, Mid-PHVA, Post-PHVA の 3 群に分けて、8 週間の筋力トレーニング及びその後 8 週間のディトレーニングの効果について比較したところ、Post-PHVA 群において SQ の最大挙上重量が他の 2 群よりも大きく向上したこと、ディトレーニングの効果が Pre-PHVA 群よりも小さかったことを報告している。このことから、筋力に関しては PHVA を過ぎた頃にトレーニングの効果が高くなることが言え、PHVA を過ぎた選手

に対しては方向転換能力向上のために遠心性の筋力を向上させるような筋力トレーニングの必要性が示唆される。

3-4-V 研究の限界

本研究の限界として、ハムストリングスの遠心性筋力低下の要因を明らかに出来ないことが上げられる。この傾向を説明する 1 つの要因として、対象者のコンディションが挙げられる。本研究の **Post** 群 8 名及び **Mid** 群 2 名は 2016 の測定時に中学 3 年生であり、測定実施日近辺において継続的にチームの練習に参加できていなかった。そのため、運動休止による影響を受けていた可能性を排除することができない。また、本研究の測定は室内で行われたものであり、シューズも室内用のトレーニングシューズであった。一方、サッカーは屋外の芝あるいは土のグラウンドにてスパイクを着用して行われるものであり、普段の練習についても同様である。従って、環境要因の違いが影響を与える可能性についても検討する必要がある。加えて、本研究では筋電図を用いた筋活動の検討やキネティクスの検討を行っていない。従って、発達による動作中のこれらの変数の変化についても今後検討を行う必要がある。

4 総合考察

本研究では、研究 1 において成長期サッカー選手を対象に方向転換能力と技術要素の関係性及び技術要素に影響を与える体力要素について検討し、研究 2 において成長期サッカー選手において PHVA を基準とする 3 つの成熟段階における方向転換能力の発達を比較し、それに貢献する因子を成熟段階ごとに明らかにした。

研究 1 において、優れた方向転換能力には「方向転換を行う 1 歩前の足の接地から停止における急激な減速」と「方向転換を行った後の素早い再加速」が関係することが示された。左足接地～停止での重心速度変位量と左股関節屈曲角度変位量との間に有意な負の相関関係が認められ、体幹側屈変位量との間に有意な正の相関関係が認められたことから、「方向転換を行う 1 歩前の足の接地から停止における急激な減速」を行うには体幹を安定させて身体バランスを保ちながら左股関節を急激に屈曲させることが必要であることが考えられた。また、左股関節屈曲角度変位量及び重心速度変位量と左膝関節屈曲遠心性筋力との間に有意な相関関係が見られたことから、「股関節の急激な屈曲による急激な減速」には膝関節屈曲筋群の遠心性筋力が影響する可能性が示唆された。一方、左足離地時の重心速度と左膝関節屈曲角度との間に有意な正の相関関係を示したことから、「方向転換を行った後の素早い再加速」を行うには下肢の関節を伸展させて次の進行方向への推進力を得ることが必要であることが考えられた。また、左足離地時の重心速度と右膝関節屈曲及び伸展求心性筋力、VJ との間に有意な負の相関関係が見られたことから、「方向転換を行った後の素早い再加速」には膝関節屈曲及び伸展求心性筋力と下肢パワーが影響する可能性が示唆された。

研究 2 において、Pre 群と Mid 群には方向転換能力の有意な向上が見られ、Post 群においては有意な向上が見られなかった。Pre 群においては発達要因として「より急激な重心高の低下」が抽出され、左足接地～停止までの重心高変位量と重心速度変位量が有意な正の相関関係を示したことから、「より急激な重心高の低下」が「より急激な減速」につながったことが示唆される。また、重心高変位量と右膝関節屈曲遠心性筋力との間に有意な負の相関関係を示したことから、「より急激な重心高の低下」には右膝関節屈曲遠心性筋力の発達が影響する可能性が示唆された。Mid 群においては、発達要因として「方向転換を行う 1 歩前の足の接地から停止におけるより急激な減速」が抽出された。左足接地～停止での重心速度変位量と左膝関節屈曲角度変位量及び左足関節背屈角度変位量との間に有意な負の相関関係が見られたことから、膝関節と足関節をより急激に屈曲させるようになったことで「方向転換を行う 1 歩前の足の接地から停止におけるより急激な減速」が可能となったことが考えられる。Post 群においては、左膝関節屈曲及び伸展遠心性筋力に有意な低下が見られたことから、純粋な発達のみでは体重当たりの遠心性筋力の向上は見られず、体重に見合った減速能力を獲得できなかったことで方向転換スピードの向上が見られなかったことが推察される。

4-1 スポーツ現場への応用について

本研究の結果より、方向転換能力には「方向転換を行う 1 歩前の足の接地から停止における急激な減速」と「方向転換を行った後の素早い再加速」が関係し、両者は異なる体力要素及び技術要素が影響することから、方向転換能力向上のためには減速と再加速のどちらに焦点を当てるのかを明らかにした上でトレーニングを行う必要性が示された。

減速時には、体幹を安定させた状態で方向転換を行う 1 歩前の股関節を急激に屈曲させる動作が求められるため、ドロップスクワットやクロスホップのような股関節を瞬間的に深く屈曲させるような動作のトレーニングに加え、サイドプランクのような体幹の側方への安定性を高めるようなトレーニングが有効である可能性がある。また、前額面上での体幹のコントロールには股関節の神経－筋コントロールが重要である (Houck et al., 2006) ことから、外転外旋筋群などの股関節周囲筋のトレーニングも有効である可能性が示唆される。加えて、股関節屈曲角度変位量や重心速度変位量については膝関節屈曲遠心性筋力の多寡が影響することから、ルーマニアンデッドリフトやランジエクササイズのようにこれらの筋群に対して遠心性の負荷がかかるようなトレーニングも有効であることが考えられる。

再加速時には、下肢の伸展が必要となることに加え、膝関節屈曲及び伸展求心性筋力や下肢パワーの多寡が影響することから、デッドリフトやスクワットのようなエクササイズで下肢のタイミングの良い伸展動作を身につけさせるとともに、徐々に負荷をかけていき下肢の筋力強化を図りながら、スクワットジャンプのようなパワー発揮のトレーニングを行うことが重要であることが考えられる。

成長期の選手では、成熟段階ごとに方向転換能力の発達課程及びその要因が異なることから、成長期のサッカー選手に対しては、PHVA を算出するなど個人の成熟度を評価した上で、個人の成熟度に合わせたトレーニングを処方する必要があることが考えられる。PHVA を迎える前の選手においては、方向転換動作の中で重心高を低下させて急激に減速できるようにになったことが方向転換能力の向上に繋がり、これには方向転換を行う足での膝関節屈曲遠心性筋力の向上が影響する。これまで、

Pre-PHVA における筋力トレーニングの効果は Post-PHVA に比べて低いこと (Meylan et al., 2014) や Pre-PHVA においてはより高い速度での運動や力発揮に対して適応し、下肢パワーの増加が認められること (Lloyd et al., 2016) が報告されている。本研究において発達による減速能力の向上が方向転換スピードの向上につながった一方で、VJ には向上が見られなかったことから、この成熟段階の選手に対しては、下肢パワーの向上を目的としてプライオメトリックトレーニングのような高速度の運動を行い、方向転換における再加速能力を高めることが重要であると考えられる。PHVA に近い選手においては、膝関節と足関節をより急激に屈曲させることで急激に減速できるようになったことが方向転換能力の向上に繋がった一方、膝関節屈曲遠心性筋力の低下が見られた。膝関節屈曲の増加は減速能力向上 (McClean et al., 2004) によるパフォーマンスの向上につながる一方で膝関節への負担の増加による傷害発生リスクの可能性がある、股関節を屈曲させる事で更なるパフォーマンスの向上と膝への負担軽減 (Havens and Sigward, 2015) に繋がる可能性がある。また、研究 1 より股関節屈曲角度変位量には膝関節屈曲遠心性筋力の多寡が影響することが示された。これらのことから、この成熟段階の選手に対しては股関節を瞬間的に深く屈曲させることを目的とした動作トレーニングに加えて、遠心性筋力を高めるようなトレーニングを自重の負荷から徐々に導入していくことが必要であると考えられる。PHVA を過ぎた選手においては、発達による方向転換能力の向上が見られず、体重当たりの膝関節屈曲及び伸展遠心性筋力が低下していたことから、方向転換スピードの向上にはトレーニングが必要であることが示唆される。Post-PHVA においては筋力トレーニングの効果が高く (Meylan et al., 2014)、より大きな力発揮に対しての適応が高い (Lloyd et al., 2016) こと

から、この成熟段階の選手に対しては外的な負荷をかけた筋力トレーニングを徐々に実施し、遠心性筋力の向上を図っていくことが方向転換能力の向上には重要であることが考えられる。

5 結語

本研究では成長期サッカー選手を対象とし、「方向転換能力の技術的分析」、「方向転換能力発達要因の検討」を行い。以下の結果を得た。

研究 1：方向転換能力には「方向転換を行う 1 歩前の足の接地から停止における急激な減速」と「方向転換を行った後の素早い再加速」が関係し、急激な減速には股関節の急激な屈曲と膝関節屈曲遠心性筋力の多寡が、再加速には膝関節の伸展と膝関節屈曲及び伸展求心性筋力の多寡と下肢パワーの多寡が影響することが明らかになった。

研究 2：方向転換能力の発達課程及びその要因は成熟段階によって異なっており、Pre-PHVA においては「膝関節屈曲遠心性筋力の向上による重心高の急激な低下」が、Mid-PHVA においては「膝関節及び足関節屈曲の増加による急激な減速」がそれぞれ発達に関係していること、Post-PHVA においては発達による方向転換能力の向上は見られないことが明らかとなった。

6 参考文献

- Alam, J. S, M., Ali, M. A., Ashizawa, K., Ohtsuki, F.: Prediction of adult stature for Japanese population : an improvement of Ali-Ohtsuki equations. *Anthropological Science*, 11: 61-66, 2004.
- Ali, A., Ohtsuki, F.: Prediction of Adult Stature for Japanese Population : A Stepwise Regression Approach. *AMERICAN JOURNAL OF HUMAN BIOLOGY*, 13: 316-322, 2001.
- Ali, A., Rarman J. A. M. S., Ashizawa, K., Ohtsuki, F.: Human Growth in Japanese Children : An Application of Triphasic Generalized Logistic Model. *International Journal of Statistical Sciences*, 3: 75-92, 2004.
- Barnes, J. L., Schilling, B. K., Falvo, M. J., Weiss, L., W., Creasy, A. K., Fry, A. C.: Relationship of jumping and agility performance in female volleyball athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 21: 1192-1196, 2007.
- Bassa, E., Kotzamanidis, C., Patikas, D.: The effect of age on isokinetic concentric and eccentric moment of knee extensors. *Isokinetics and exercise Science*, 9: 155-161, 2001.
- Belanger, A. Y., McComas, A. J.: Contractile properties of human skeletal muscle in childhood and adolescence. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 58: 563-567, 1989.
- Bergeron, M. F., Mountjoy, M., Armstrong, N., Chia, M., Côté, J., Emery, C., A., Faigenbaum, A., Gary H. J., Kriemler, S., Léglise, M., Malina, R. M., Pensgaard, A., M., Sanchez, A., : *International*

- Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *J. Sports Med.*, 49: 843-851, 2015.
- Bloomfield, J., Remco, P., O'Donoghue, P.: Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6: 63-70, 2007.
 - Bogin, B., Wall, M., MacVean, R. B.: Longitudinal growth of high socioeconomic status Guatemalan children analyzed by the Preece-Baines function: An international comparison. *Am. J. Hum. Biol.*, 2: 271-281, 1990.
 - Byard, T., Guo, S., Roche, A. F.: Family resemblance for Preece-Baines growth curve parameters in the Fels Longitudinal Growth Study. *Am. J. Hum. Biol.*, 5: 151-157, 1993.
 - Colby, S., Francisco, A., Yu, B., Kirkendall, D., Finch, M., Garrett, W.: Electromyographic and Kinematic Analysis of Cutting Maneuvers Implications for Anterior Cruciate Ligament Injury. *Am. J. Sports Med.*, 28: 234-240, 2000.
 - Condello, G., Minganti, C., Lupo, C., Benvenuti, C., Pacini, D., Tessitore, A.: Evaluation of change-of-direction movements in young rugby players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8: 52-56, 2013.
 - FIFA, FIFA Big Count 2006. FIFA Communication Division, Information Services, 2007.
 - Gravina, L., Gil, S. M., Ruiz, F., Zubero, J., Gil, J., Irazusta, J.: Anthropometric and physiological differences between first team and reserve soccer players aged 10-14 years at the beginning and

- end of the season. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 1308-1314, 2008.
- Greg, M.: The influence of soccer-specific activity on the kinematics of an agility sprint. *European Journal of Sport Sciences*, 9: 23-33, 2009.
 - Havens, K. L., Sigward, S. M.: Cutting mechanics: Relation to performance and ACL injury risk. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 47: 818-824, 2015.
 - Havens, K. L., Sigward, S. M.: Joint and segmental mechanics differ between cutting maneuvers in skilled athletes. *Gait & Posture*, 41: 33-38, 2015.
 - Hirose, N., Nakahori, C.: Age Differences in Change-of-Direction Performance and Its Subelements in Female Football Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10: 440-445, 2015.
 - Hirose, N., Seki, T.: Two-year changes in anthropometric and motor ability values as talent identification indexes in youth soccer players. *J. Sci. Med. Sport*, Jan 23. pii: S1440-2440(15)00007-9, 2015.
 - 星川精豪, 藤田基弘, 広瀬統一: バスケットボール選手のジャンプ動作の年代別特徴 Characteristics of Jumping Movement by Age Groups in the Basketball Players. *トレーニング科学*, 26: 211-219, 2015.
 - Houck, J. R., Duncan, A., De Haven, K. E.: Comparison of frontal plane trunk kinematics and hip and knee moments during anticipated and unanticipated walking and side step cutting tasks.

- Gait & Posture, 24: 314-322, 2006.
- Jones, P., Bampouras, T. M., Marrin, K.: An investigation into the physical determinants of change of direction speed. J. Sports Med. Phys. Fitness, 49: 97-104, 2009.
 - Kaneshima, H., Ikegawa, S., Tsunoda, N., Fukunaga, T.: Strength and Cross-Sectional Areas of Reciprocal Muscle Groups in the Upper Arm and thigh During Adolescence. Int. J. Sports Med., 16: 54-60, 1995.
 - Kaplan, T., Erkmen, N., Taskin, H.: The evaluation of the running speed and agility performance in professional and amateur soccer players. J. Strength Cond. Res., 23: 774-778, 2009.
 - Ledford, A. W., Cole, T. J.: Mathematical models of growth in stature throughout childhood. Ann. Hum. Biol., 25: 101-115, 1998.
 - Lloyd, R. S., Radnor, J. M., De Ste Cronin, M. B. A., Cronin, J. B., Oliver, J. L.: Changes in sprint and jump performances after traditional, plyometric and combined resistance training in male youth pre- and post-peak height velocity. J. Strength Cond. Res., 30: 1239-1247, 2016.
 - Mclean, S. G., Lipfert, S. W., Van den bogert, A. J.: Effect of Gender and Defensive Opponent on the Biomechanics of Sidestep Cutting. Med. Sci. Sports Exerc., 36: 1008-1016, 2004.
 - Mirkov, D. M., Kukolj, M., Ugarkovic, D., Koprivica, V. J., Jaric, S.: Development of anthropometric and physical performance profiles of young elite male soccer players: A longitudinal study. J. Strength Cond. Res., 24: 2677-2682, 2010.

- Negrete R., Brophy J.: The relationship between isokinetic open and closed chain lower extremity strength and functional performance. J. Sport Rehabil., 9: 46-61, 2000.
- Neptune, R., Wright, I. C., Van den bogert, A. J.: Muscle coordination and function during cutting movements. Med. Sci. Sports Exerc., 31: 294-302, 1999.
- 日本整形外科学会・日本リハビリテーション医学会：関節可動域表示ならびに測定法．日本整形外科学会雑誌，69：240-250，1995.
- Patla, A. E., Adkin, A., Ballard, T.: Online steering : coordination and control of body center of mass , head and body reorientation. Exp. Brain Res., 129: 629-634, 1999.
- Peterson, M. D., Alvar, B. A., Rhea, M. R.: The contribution of maximal force production to explosive movement among young collegiate athletes. J. Strength Cond. Res., 20: 867-873, 2006.
- Philippaerts, R., M., Vaeyens, Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunenm G., Malina, R., M.: The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. Journal of Sports Sciences, 24: 221-230, 2006.
- Sasaki, S., Nagano, Y., Kaneko, S., Sakurai, T., Fukubayashi, T.: The relationship between performance and trunk movement during change of direction. Journal of Sports Science and Medicine, 10: 112-118, 2011.
- Sayers, M.: Running techniques for field sport players. Sports Coach, Autumn: 26-27, 2000.

- Seger, J., Thorstensson, A.: Muscle strength and electromyogram in boys and girls followed through puberty. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 81, 54-61: 2000.
- Sheppard, J. M., Young, W. B.: Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24: 919-932, 2006.
- Shimokochi Y., Ide D., Kokubu M., Nakaoji T.: Relationships among performance of lateral cutting maneuver from lateral sliding and hip extension and abduction motions, ground reaction force, and body center of mass height. *J. Strength Cond. Res.*, 27: 1851-1860, 2013.
- Stein, C. J., Micheli, L. J., : Overuse Injuries in Youth Sports. *The Physician and Sportsmedicine*, 38: 102-108, 2010.
- Sporis, G., Milanovic, Z., Trajkovic, N., Joksimovic, A.: Correlation between speed, agility and quickness(SAQ) in elite young soccer players. *Acta Kinesiologica*, 5: 36-41, 2011.
- 津越智雄, 浅井武: Jリーグサッカークラブにおける上位カテゴリーへの選手選抜に関する横断的研究－体力・運動能力を対象として－. *体育学研究*, 55: 565-576, 2010.
- Vescovi, J. D., McGuigan, M. R.: Relationship between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *Journal of Sports Sciences*, 26: 97-101, 2008.
- Yanci, J., Arcos, A. L., Mendiguchia, J., Brughelli, M.: Relationships between sprinting, agility, one-and two-leg vertical and horizontal jump in soccer players. *Kinesiology*, 46: 194-201, 2014.

- Young, W. B., James, R., Montgomery, I.: Is muscle power related to running speed with changes of direction? J. Sports Med. Phys. Fitness, 42: 282-288, 2002.

謝 辞

本論文の作成にあたって、指導教員である広瀬統一教授には多大なるご指導、ご鞭撻を賜りました。深く御礼申し上げます。アメリカでの研究期間の間も丁寧にご指導くださり、多くのご助言をいただいたことで、本論文を完成させることが出来ました。心より感謝申し上げます。

副査を快く引き受けてくださいました川上泰雄教授、鳥居俊准教授にも深く御礼申し上げます。川上先生には学部時代からご指導いただき、所属の研究室が変わってからもご相談させていただいた際には丁寧にご指導下さいました。心より感謝申し上げます。鳥居先生には実験に際して多くのご協力をいただきました。鳥居先生のお取り計らいなくして本論文を完成させることはできませんでした。心より感謝申し上げます。

快く実験に協力してくださった篠田直さんをはじめとする FC GONA の皆様にも深く御礼申し上げます。ご協力ありがとうございました。

測定に際し、金岡研究室博士課程の飯塚哲司さん、鳥居研究室の秋和真澄さん、阿部平さんをはじめとする多くの方に協力をしていただきました。皆さんの協力のおかげで本論文を完成させることができました。心より感謝申し上げます。

峯田晋史郎さんや大川原洋樹さん、植木潤さんをはじめとする広瀬研究室の皆さん、そして 208 研究室の同期でもある山口翔太さんにも深く御礼申し上げます。特に研究室同期の大川原さんと植木さん、山口さんには実験をお手伝いいただいたり、相談を受けていただいたりと本当に多くの面でお世話になりました。共に笑い、悩み、語り合った日々は自分にとっての財産となりました。楽しい大学院生活を送ることができたのも皆さんのおかげです。本当にありがとうございました。また、峯田さんには研究のご相談のみならず、同じチームでスタッフとして活動し

た際にも大変お世話になりました。峯田さんの的確な助言と豊富な知識に幾度と助けていただきました。本当にありがとうございました。

最後に、大学院進学を認め、いつも温かく見守ってくれた家族に感謝申し上げます。