

京都教育大学

平成 19 年度 修士論文

異なる角度の方向転換走におけるターン技術の研究

京都教育大学大学院

教育学研究科保健体育専修

鈴木 雄太

指導教員

藪根 敏和 教授

榎本 靖士 准教授

目次

表のタイトル一覧

図のタイトル一覧

I. 緒言

- 1. はじめに 1
- 2. バイオメカニクスの観点からみた方向転換 3

II. 文献研究

- 1. 直線走と方向転換走との関係に関する研究 5
- 2. 方向転換における走速度と地面反力との関係に関する研究 6
- 3. 方向転換動作に関する研究 8
- 4. 方向転換走のトレーニングに関する研究 10

III. 研究目的

- 1. 目的 12
- 2. 作業仮説 12
- 3. 研究の限界 12

IV. 研究方法

- 1. データ収集
 - (1) 被験者および分析対象者 14
 - (2) 実験試技 14
 - (3) VTR 撮影 14
- 2. データ処理 18
- 3. 算出項目 19
- 4. 統計処理 24

V. 結果

1. タイムおよび平均速度	25
2. 身体重心速度	29
3. 方向転換角度	36
4. 地面反力	39

VI. 考察

1. ジグザグ走タイムと方向転換能力との関係	42
2. ステップによる方向転換の違い	45
3. 身体重心速度および地面反力の大きさが方向転換角度に及ぼす影響	46
4. ターン技術の指導への示唆	50

VII. 結論

57

謝辞

文献

表のタイトル一覧

Table4-1	Characteristics of the subjects(N=36).
Table5-1	The magnitude of changes CG velocity in each support phase for side step and cross step.
Table5-2	The mean normal force to the velocity of the center of gravity(MF _{nv}) in each support phase.

図のタイトル一覧

- Figure4-1 The setting of zigzag run.
- Figure4-2 A view of experimental set up.
- Figure4-3 Resolving the horizontal component of the ground reaction force.
- Figure4-4 Relationship between the mean speed and the angle of changing running direction.
- Figure4-5 Definition of the phase during changing running direction.
- Figure5-1 Time and the mean velocity of the 30m straight running and the zigzag running.
- Figure5-2 Relationships between time of 30m straight running(SR) and time of zigzag running(ZR).
- Figure5-3 Time of changing running direction(Tcrd) for side and cross step.
- Figure5-4 Relationships between the index of changing running direction for side step(SS) and that for cross step(CS).
- Figure5-5 Correlation coefficients between the index of changing running direction(Icrd) and time of zigzag running(Tzr) and time of changing running direction(Tcrd).
- Figure5-6 The horizontal velocity of the center of gravity(CGV) at foot strike(FS), mid-support(MS) and toe off(TO) for side and cross step.
- Figure5-7 The magnitude of velocity of the center of gravity relative to mean CGV(RV) at foot strike(FS), mid-support(MS) and toe off(TO) for side and cross step.
- Figure5-8 The percentage of the angle of change in the direction of the velocity of the center of gravity at each support phase.

- Figure5-9 The ratios of changing direction of CG velocity to support time in SP1, SP2 and SP3.
- Figure5-10 Relationships between the mean normal force to the velocity of the center of gravity(MF_{nv}) and the ratio of the angle of changing direction of the velocity of the center of gravity to support time(RAV).
- Figure6-1 Relationships between the mean speed and the angle of changing running direction for subject N and subject H.
- Figure6-2 Relationship between the ratios of changing direction of CG velocity to support time and the ratios of the mean normal force to velocity of the center of gravity(MF_{nv}) to the mean CG velocity during each support phase.
- Figure6-3 Relationship between the magnitude of the velocity of the center of gravity at FS2(V_{fs}) and the angle of changing direction of the velocity of the center of gravity in support phase2($\angle VA$).
- Figure6-4 The horizontal velocity of the center of gravity (CGV) and the angle between CGV and the Y axis at foot strike(FS), mid-support(MS) and toe off(TO) in 3 support phases for subject T and subject K.
- Figure6-5 The X and Y coordinates of the center of gravity for subject T and subject K.
- Figure6-6 The horizontal velocity of the center of gravity (CGV) at foot strike(FS), mid-support(MS) and toe off(TO) and the mean force normal to velocity of the center of gravity(MF_{nv}) in 3 support phases for subject S and subject M.
- Figure6-7 The X and Y coordinates of the center of gravities, the hips and the foot of support leg for subject S and subject M.

I. 緒言

1. はじめに

サッカーやバスケットボールをはじめとする多くの球技スポーツでは、得点するため、あるいは失点を抑えるために、選手は様々な移動運動を繰り返す。これらのスポーツでは、近年のオフenseおよびディフェンスシステムの発展に伴い、移動運動のスピード化や複雑化が進んでいるため、選手には状況の変化および相手やボールの動きに応じてより素早く正確に移動することが必要とされる。高松（1991）や田中ら（1999）は、球技スポーツ選手を対象にフィールドテストを行った結果、直線走のタイムには競技水準による差がみられなかったが、方向転換走のタイムは競技水準の高いものの方が良かったことを報告している。すなわち、球技スポーツにおいては、加速能力や疾走スピードに加え、走方向を様々な方向へ瞬時に変化させるターン能力が選手の競技力を左右する重要な要素の1つであると考えられる（田中ら、1999）。

瀧井と福井（1984）は、50m 走のタイムと様々な方向転換走のタイムとの関係について検討し、これらの間には有意な正の相関（ $r=0.455\sim0.804$ ）がみられたと報告している。一方、田中ら（1999）と中山（1998）は、ターンの程度が強くなるほど、方向転換走のタイムと直線走のタイムとの相関よりも方向転換能力（方向転換走のタイム－直線走のタイム）と方向転換走のタイムとの相関が強くなることを報告している。つまり、素早くターンを行うためには、直線走における走能力のみならず、ターン技術が必要であると考えられる。ジグザグ走をはじめとする方向転換走の多くは、直線疾走局面とターン局面が混在するた

め、それらのタイムのみを用いてターン技術の評価することは難しいと考えられる。一方、田中ら（1999）は、ターンの程度が強くなるほど、直線走タイムとの相関よりも他の方向転換走のタイムとの相関が強くなることを報告している。すなわち、ターンの程度に関わらず、素早くターンを行えるものがあることを示していると考えられ、方向転換走においてターンの程度が強くなっても走速度の減少が小さいターン技術があることを示唆している。

トレーニング現場では、球技選手のフットワークの改善を目的として、SAQ トレーニングや、ジグザグ走、プライオメトリックトレーニングなどが行なわれている。素早くターンを行なうためには、下肢が大きなパワーを発揮することが重要であると考えられる。このため、下肢の筋力特性と方向転換走タイムとの関係を検討した研究（Young et al., 2002 ; Markovic, 2007 など）やプライオメトリックトレーニングがターン能力の向上に及ぼす影響を検討した研究（Bencke et al., 2000 ; 図子, 2006 など）は数多くある。しかし、下肢の筋力と方向転換走タイムとの相関係数はいずれも高いものではない。この原因として、素早くターンするためには片脚支持でバランスを取りながら地面を強く蹴る必要があるため、ターン能力は下肢筋力以外にも技術的な要因の影響を受けることが考えられる（Markovic, 2007）。

また、素早くターンするためには、下肢が大きなパワーを発揮する必要があるため下肢関節への負荷が大きくなり、足および膝関節の怪我を引き起こす主な原因の1つであるといわれている（McLean et al., 2005 ; Besier et al., 2001 ; Pollard et al., 2004）。一方、Grindstaff（2006）は、合理的なターン動作を身につけることは、ターン技術の向上のみならず、怪

我や故障を防ぐことにも役立つことを示唆している。しかし、これまでの方向転換に関する研究には、ターン技術に言及したものは少なく、ターン動作の改善をねらいとしたトレーニングはあまり行なわれていないようである。

2. バイオメカニクスの観点からみたターン動作

ターンには、ターンする方向側の脚を進行方向への第1歩とするサイドステップ (SS) と、ターンする方向の反対側の脚を支持脚の前でクロスさせ、新しい進行方向への第1歩とするクロスステップ (CS) の2つがある (Andrews et al., 1977). Hamill et al. (1987) は、400mトラックの曲走路中間点では、CSの方が左右方向の力積が大きかったため、走方向を大きく変えていたと述べている。Ohtsuki et al. (1988) は、ターンにおける鉛直および左右方向の地面反力は、SSの方がCSよりも大きかったため、素早くターンを行うにはSSの方が有効であると報告している。ターン動作を力学的に考えると、走速度ベクトルの方向を地面反力によって変化させることである。このため、大きくターンを行なうためには、大きな左右方向の力積を獲得することが重要であると考えられる。一方、Jindrich et al. (2006) は、方向転換角度を大きくするためには、単に左右方向への地面反力を大きくするだけではなく、身体重心速度を減速させることが重要であることを示唆している。また、Chang and Kram (2007) は、円周上を疾走する時の疾走速度は、円の半径のみならず地面反力の大きさによっても制限され、同じ半径の円周上を疾走した場合、地面反力が小さい被験者では、疾走速度が小さかったことを報告している。つまり、方向転換角度は、地面反力の大きさのみならず、走速度の大きさの影響も受けることが分かる。

McLean (1992) や Deutsch et al. (1998), 大橋 (1987) は, ラグビーおよびサッカーにおける試合中の選手の動きを測定し, 短時間ではあるものの, 最大疾走スピードは 8m/s 以上にもなると述べている. Jindrich et al. (2006) は, 1 歩で 60 度のターンを行うためには, 走速度を 3m/s 以下にする必要があり, 走速度がそれ以上の場合は, 次のステップでもターンが行なわれることを示唆している. Besier (2001) や Schot et al. (1995), Jindrich et al. (2006) などの研究における走速度は約 3m/s と試合中の走速度よりも遅いものである. つまり, 球技スポーツの試合中に行われているターンは, これまでの研究で行われてきたターンよりも大きな疾走速度で行われており, ターンが数歩にわたって行われていることが推察される. つまり, 合理的なターン動作を検討するためには, ターンの 1 歩のみならずその前後の動作も分析する必要があると考えられる.

そこで, 異なる角度の方向転換走を行なったときのターン動作の特徴をターンの前後 3 歩にわたって検討することで, 合理的なターン動作を明らかにすることができ, より効果的なターン動作の指導が可能になると考えられる.

II. 文献研究

1. 直線走と方向転換走との関係に関する研究

これまでも、直線走と方向転換走との関係に関する研究は数多くなされており（瀧井と福井，1984；中山，1998；米田，1988 など），直線走のタイムと様々な方向転換走のタイムとの間には有意な正の相関がみられたと報告されている。これらの報告は，高い直線走能力を有しているものは，方向転換走のタイムが良いことを示していると考えられる。しかし，方向転換走を素早く行うためには，直線を速く走ることのみならず，素早くターンすることも重要であると考えられる。中山（1998）は，ターンの程度が強くなればなるほど，方向転換走のタイムと直線走のタイムとの相関が弱くなることを示している。さらに中山（1998）は，方向転換走のタイムと直線走のタイムの差を方向転換能力とし，方向転換能力と方向転換走のタイムとの関係を検討した。その結果，方向転換能力と方向転換走のタイムとの間に有意な正の相関（ $r=0.508\sim0.930$ ）がみられたことや，ターンの程度が強いほど方向転換能力と方向転換走のタイムとの相関係数が大きくなることを報告している。つまり，ターンの程度が強い方向転換走を素早く行うためには，ターンの技術の影響が強くなると考えられる。

方向転換走では，主にそのタイムがパフォーマンスの評価の指標とされている。しかし，ジグザグ走をはじめとする方向転換走の多くは，直線の疾走局面とターン局面が混在しているため，方向転換走のタイムのみを用いてターン技術の評価することは難しいと考えられる。また，中山（1998）が用いた方向転換能力は，方向転換走のタイムから直線走能力

の影響を差し引いてはいるものの、1つの方向転換走のタイムのみを用いてターン能力を評価している。方向転換走において、走速度はターンの程度が強くなるにしたがって減少するが、優れたターン技術を有しているものは、ターンの程度が強くなっても走速度の減少を最小限に抑えてターンしていると考えられる。つまり、ターン技術を評価するためには、高い疾走速度を維持して大きくターンすることを評価する必要があると考えられる。

以上の研究から、素早くターンを行なうためには、直線における疾走能力のみならず、ターン技術が必要であると考えられる。また、ターン技術を方向転換走のタイムのみを用いて評価すること難しいと考えられ、ターンの程度が強くなっても走速度を低下させずに方向転換を行っていることを評価する必要があると考えられる。

2. ターン動作における走速度と地面反力との関係に関する研究

ターン動作とは、走速度の方向を地面反力によって変化させることである。このため、ターン動作における走速度と地面反力との関係を検討した研究は数多くある。Schot et al. (1995) は、45度および90度のターンにおける地面反力を比較し、方向転換角度が大きくなると、走速度が遅くなるにも関わらず、支持期前半における減速方向の力積および支持期後半における加速方向の力積が大きくなると報告している。これは、方向転換角度が小さい場合は助走で得られた運動量の多くを保持することができるが、方向転換角度が大きくなるのに伴って、助走で得られた運動量を減少させ、新たに運動量を獲得しなければならないからであると述べている。

Jindrich et al. (2006) は、ターンにおける地面反力の減速成分の役割について検討してい

る。その結果、方向転換角度が大きくなると、より大きな左右方向の力積を得る必要があるが、地面反力を大きくすることには限界があるため接地時間が長くなることや走速度の減少量が増大することを報告している。Chang and Kram (2007) は、半径が異なる円周上を疾走させた時の疾走速度と地面反力との関係を検討している。円周上を疾走する時の疾走速度は、円の半径のみならず地面反力の大きさによっても制限され、同じ半径の円周上を疾走した場合、地面反力が小さい被験者では、疾走速度が小さかったことを報告している。つまり、身体重心速度の方向の変化は、地面反力の作用によって生じるが、ターンの大きさは疾走速度の大きさにも影響を受けると考えられる。

また、McLean (1992) や Deutsch et al. (1998) は、ラグビーの試合における選手の動きを測定し、ラグビー選手の走速度は 8m/s に及ぶことを報告している。同様に、大橋 (1987) は、サッカーの試合における選手の動きを測定し、全移動距離の約 13% は 5m/s 以上で移動しており、ごく短時間ではあるものの、最大走スピードは、8m/s 以上にもなると述べている。一方、Besier (2001), Schot et al. (1995) および Jindrich et al. (2006) のターン動作における走速度と地面反力との関係を検討した研究での走速度は、約 3m/s と試合中の走速度よりも遅いものである。Jindrich et al. (2006) は、1 歩で 60 度のターンを行うためには、身体重心速度を 3m/s 以下にする必要があり、それを上回った場合は、次のステップでもターンが行なわれていることを示唆している。つまり、球技スポーツの試合中に行われているターンは、これまでに研究で行われてきたターンよりも大きな疾走速度で行われており、ターンは数歩にわたって行われていることが推察される。このため、合理的なターン動作を明らかにするためには、ターンの 1 歩のみならずその前後での重心速度の変化や動作も

検討する必要があると考えられる。

これらのことから、ターンの大きさには、地面反力の大きさのみならず、疾走速度の大きさが大きく影響することがわかる。また、球技スポーツの試合においては、大きな走速度でターンが行われているが、その時どのようにターンを行っているかは検討されていない。これまでの研究では、球技スポーツの試合にみられるような高い走速度で行われたターンを対象としたものは少なく、また1歩のみのターンを分析しているため、その前後の動作に着目して方向転換技術を明らかにしようとしたものは少ないようである。

3. 方向転換動作に関する研究

Rand and Ohtsuki (2000) や Neptune et al. (1999) は、筋電図を用いてターン動作における下肢筋群の活動について研究した。その結果、膝関節伸筋群である内側広筋および大腿直筋と足関節底屈筋群である腓腹筋が、支持期前半ではエキセントリックな筋活動を行うことで減速することに、支持期後半ではコンセントリックな筋活動を行なうことで加速することに貢献していると述べている。

McLean et al. (1998) は、異なる走速度でのサイドステップにおける膝関節のキネマティクスの変化について検討し、走速度が速くなること、あるいは方向転換角度が大きくなることで、接地時の膝関節角度、支持期の最大屈曲角度および動作範囲が大きくなると報告している。

Lee et al. (2000) は、サイドステップおよびクロスステップにおける下肢のキネティクスがターン動作に及ぼす影響について研究している。その結果、サイドステップにおいて

は、足関節の内反トルク、膝関節の外反トルクおよび股関節の外転トルクが、クロスステップにおいては、接地時の足関節の外反トルク、膝関節の内反トルク、股関節の外旋および内転トルクが、身体重心速度の減速に貢献していることを示唆している。さらに、McLean et al. (2004) は、接地時に、膝および股関節を屈曲させておくことで、これらの関節における伸展トルクを大きくすることができるため、接地後の素早い減速が可能になると報告している。

一方、ターン動作では下肢筋群において複雑に関節トルクが発揮されるため膝および足関節の怪我が生じやすいといわれている (McLean et al., 2005)。このため、多くの研究者 (McLean et al., 2005 ; Besier et al., 2001 ; Pollard et al., 2004 など) は、ターンにおける下肢の動作および関節トルクと膝関節への負荷との関係について検討し、ターンにおける下肢の複雑な動きや関節トルクが発揮が膝関節の負荷を大きくし、前十字靱帯の断裂や損傷を引き起こす原因となると述べている。一方、Grindstaff (2006) は、合理的なターン動作を身につけることは、ターン技術の向上のみならず、怪我や故障を防ぐことにも役立つことを示唆している。

これらのことから、ターンにおいて素早く減速および加速を行うためには、下肢関節において大きなトルクが発揮が重要であることがわかる。一方、これらの下肢関節トルクは、膝関節に大きな負荷をかけるため、膝関節の怪我を引き起こす可能性があることが示唆されている。また、合理的なターン動作を身につけることは、ターン技術の向上のみならず、怪我や故障を防ぐことにも役立つことが示唆されているものの、ターン技術については、ほとんど検討されていないようである。

4. 方向転換走のトレーニングに関する研究

Young et al. (2002) は、方向転換走タイムと下肢の筋力特性との関係を検討した結果、方向転換走のタイムとドロップジャンプ能力（跳躍高/接地時間）との間に負の相関が見られた一方で、膝の伸筋群のコンセントリックパワーとの間には有意な相関が見られなかったことを報告している。さらに Young et al. (2002) は、これらの関係から、方向転換走において、ストレッチショートニングサイクルによる下肢のパワー発揮が重要であることを示唆している。同様に、図子ら (1993) は、フットワークに優れた球技スポーツ選手は、ドロップジャンプの遂行能力が高いことから、様々な方向への素早い移動には、筋のストレッチショートニングサイクルによるパワー発揮が内在していることを示唆している。また、図子 (2006) は、7 週間のプライオメトリックトレーニングを行った結果、直線走の疾走速度に有意な増大はみられなかったが、ターンに要する接地時間が有意に短縮されたため、方向転換走のタイムが短縮されたと述べている。Bencke et al. (2000) は、片脚での様々な方向へのホッピングを含むトレーニングを行った結果、サイドステップにおける支持期後半の接地時間が短縮されたことを報告している。これは、支持期後半の最初で、膝関節伸筋群のコンセントリックな活動による伸展トルクが大きくなったことによると述べている。

一方、Markovic (2007) は、方向転換走タイムと下肢筋力との関係を検討した結果、方向転換走タイムと下肢筋力との相関が弱かったことを報告している。これは、素早くターンを行うためには片脚支持でバランスを取りながら地面を強く蹴る必要があるためであり、ターン動作のパフォーマンスは、下肢筋力以外の様々な要因の影響を受けるためであると

述べている。Young et al. (2002) は、下肢筋力と方向転換走タイムとの間に有意な相関がみられなかったのは、方向転換走のスピードは、直線走スピード、下肢筋力およびターン技術の影響を受けるためであると述べている。

以上の研究から、下肢に短時間で大きな力を発揮させるトレーニングが、ターンにおける接地時間を短くするために有効であることが分かる。しかし、素早くターンを行うためには、片脚支持でバランスを取りながら地面を強く蹴る必要があるため、単に下肢筋力を増大させることや直線走での疾走能力を向上させることだけでは、ターン能力を向上させることは難しいようである。

これまでの研究でも、素早くターンを行うためには、直線走能力や下肢筋力のみならず、ターン技術も重要であることが示唆されている。また、ターンの大きさは、身体重心速度および地面反力の大きさに影響を受け、走速度が大きな場合は数歩に及んでターンが行われていることが推測される。しかし、これまでのターン動作に関する研究の多くは、球技スポーツの試合中にみられる走速度よりも低い速度でターンさせ、ターンの1歩のみを分析している。また、ターン動作に関する研究では、膝関節の負荷および怪我についての報告が多く、ターン技術を明らかにしようとした報告は少ないようである。このため、ターン動作を改善するためのトレーニングも十分に検討されていない。

このようにみえてくると、方向転換角度は、地面反力と重心速度の大きさの両方の影響を受けると考えられるため、合理的なターン動作を明らかにするためには、これらの関係を検討することが役立つと考えられる。

Ⅲ. 研究目的

1. 目的

本研究の目的は、学生球技スポーツ選手が異なる角度の方向転換走を行ったときのターン動作の特徴をバイオメカニクス的手法を用いて明らかにし、ターン技術の指導に役立つ基礎的知見を得ることである。

2. 作業仮説

本研究は、以下のような仮定にもとづいている。

- ① 分析対象としたターン動作は、それぞれの方向転換走の代表的なターン動作とみなすことができる。
- ② 身体は15の部分からなるリンクセグメントモデルとみなすことができる。

3. 研究の限界

本研究で得られた結果は、以下に示すような限界があると考えられる。

- ① フォースプラットフォームを用いることができなかったため、地面反力は身体重心の加速度から推定した。
- ② 重心は、すべての分析対象者に阿江（1996）の日本人アスリートにおける身体部分慣性係数を用いて推定した。
- ③ 得られた知見は、学生男子球技スポーツ選手を対象としたものであるため、女子選手

への適用の際には注意が必要である。

IV. 研究方法

1. データ収集

(1) 被験者および分析対象者

被験者は、継続的にトレーニングを行っている男子学生 36 名（サッカー部員 19 名、バスケットボール部員 9 名、ハンドボール部員 5 名、ラグビー部員 3 名）であった。被験者の特性は、表 4-1 に示した。さらに被験者の中から、30m 走のタイムおよび図 4-3（後出）に示した方向転換走指数（Icrd）をもとに、20 名（サッカー部員 12 名、バスケットボール部員 3 名、ハンドボール部員 2 名、ラグビー部員 3 名）を動作分析の対象者とした。被験者全員に研究目的および実験手順を十分に説明し、承諾を得た上で実験を行った。

(2) 実験試技

本研究では、ステップをサイドステップ (SS) あるいはクロスステップ (CS) に指定し、方向転換角度が 30、60 および 90 度の 30m ジグザグ走を全力で行わせた。ジグザグ走の設定は、図 4-1 に示した。また、疲労の影響を受けないようにするため、試技順はランダムにし、各試技の間に十分な休息時間をおいた。各試技を 2 回ずつ行わせ、タイムの良い方を分析試技とした。

(3) VTR 撮影

図 4-2 は、実験器材の配置状況を示したものである。ジグザグ走における方向転換の前 3 歩における動作を分析するため 5m×3.5m×2m の区間を撮影範囲とし、2 台の DV カ

Table 4-1 Characteristics of the subjects (N=36).

	Age(yrs)	Height(m)	Body Mass(kg)
mean $\pm$ S.D.	19.7 $\pm$ 1.3	1.74 $\pm$ 0.05	66.2 $\pm$ 5.2
max-min	18-22	1.63-1.84	56-80

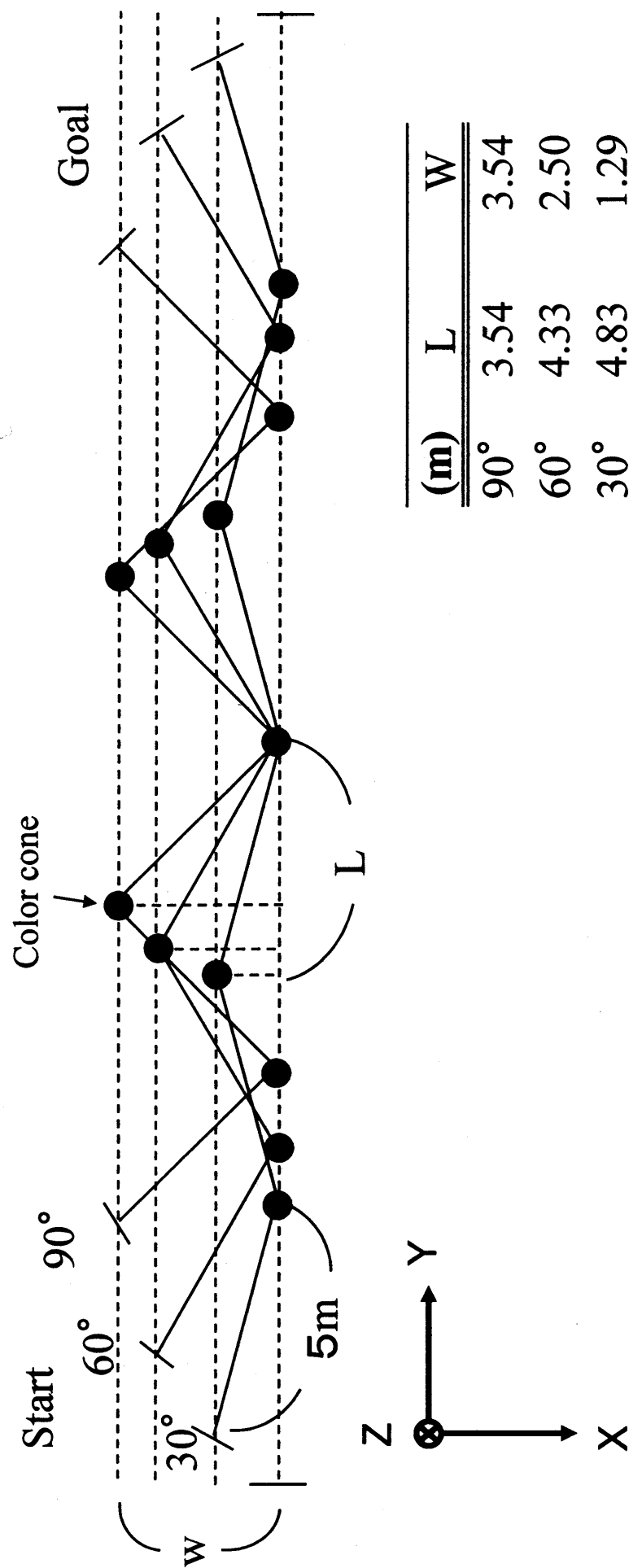


Figure 4-1 The setting of zigzag run.

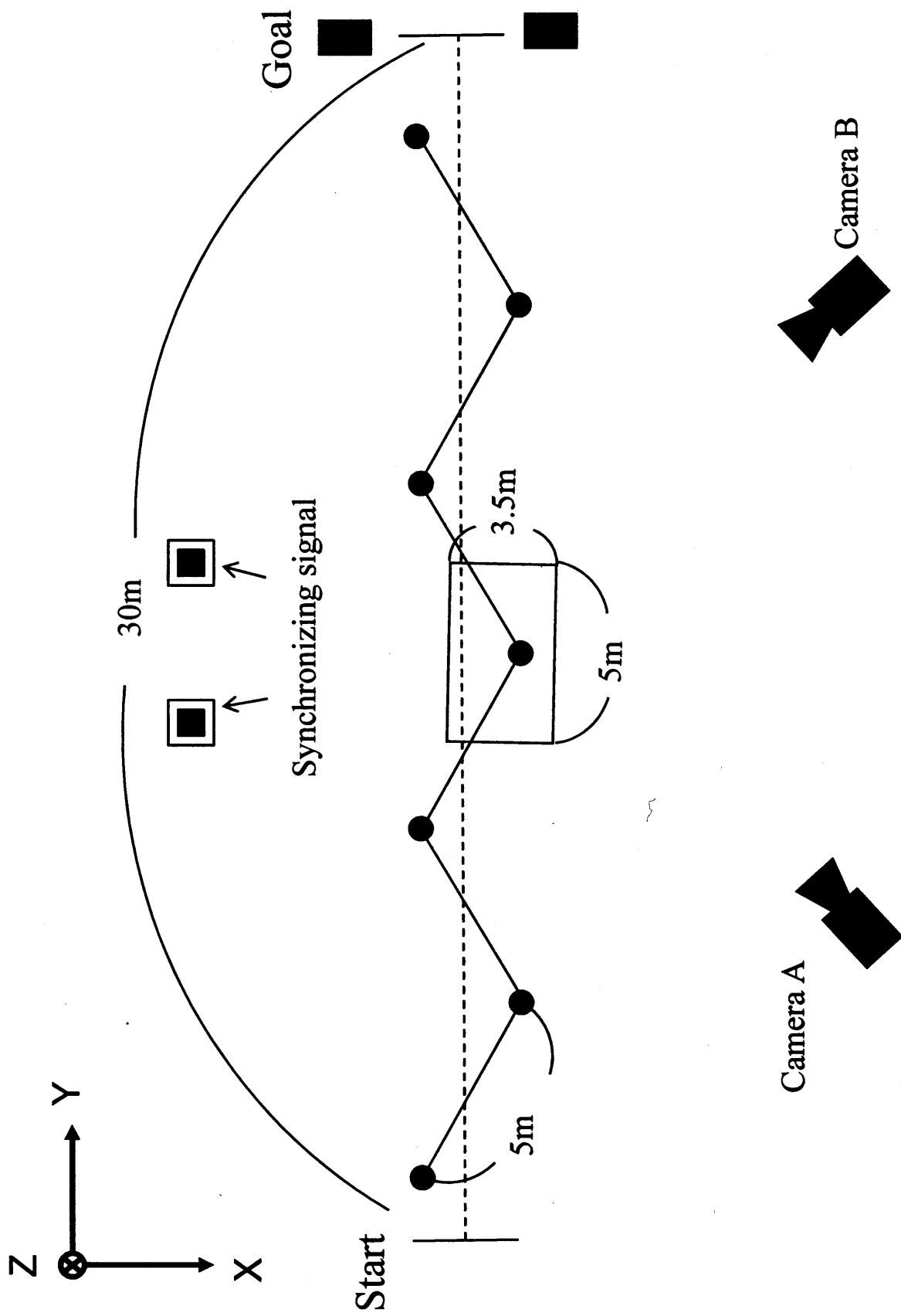


Figure 4-2 A view of experimental set up.

メラ (Panasonic 社製 AG-DVC100, SONY 社製 DCR-TRV950) で撮影した。この時の撮影スピードは毎秒 60 フィールド, 電子シャッターは 1/500 秒であった。また, 画像の同期は, 発光ダイオードの光を 2 台のカメラに映すことによって行なった。

2. データ処理

(1) 3 次元座標

撮影した VTR 画像から方向転換動作を分析するために, 方向転換の前後 1 ステップを分析対象とし, 身体分析点 (25 点) を動作解析ソフト (Frame-DIAS II, DKH 社製) を用いてデジタイズした。得られた身体の 2 次元座標から, 左右方向を X 方向, 進行方向を Y 方向, 鉛直方向を Z 方向とし, DLT 法を用いて 3 次元座標を算出した。次に, Wells and Winter (1980) の方法により分析点の座標成分ごとに最適遮断周波数を決定し, Butterworth Digital Filter を用いて平滑化した。実際の最適遮断周波数は, X 座標が 3.0~8.4Hz, Y 座標が 2.4~8.4 Hz, Z 座標が 3.0~8.4 Hz の範囲であった。

(2) 重心

平滑化したデータから, 阿江 (1996) の身体部分慣性係数を用いて部分および全身の重心の座標を算出した。

(6) 速度および加速度

分析点の変位データを数値微分することによって身体重心の速度, 加速度を算出した。

(4) 地面反力

フォースプラットフォームを用いて地面反力を測定できなかったため、以下の式①、②および③を用いて地面反力を重心加速度から推定した。

$$GRF_x = M \cdot a_x \quad ①$$

$$GRF_y = M \cdot a_y \quad ②$$

$$GRF_z = M \cdot a_z + M \cdot g \quad ③$$

ここで、M は身体質量、 a_x 、 a_y および a_z はそれぞれ重心加速度の X、Y および Z 成分、 g は重力加速度(-9.81 m/s^2)である。

さらに、式④を用いて、地面反力の水平成分を CGV 方向の成分 (F_{pv}) と CGV に対して垂直方向の成分 (F_{nv}) に分解した (図 4-3)。

$$\begin{bmatrix} F_{pv,t} \\ F_{nv,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_t & -\sin \theta_t \\ \sin \theta_t & \cos \theta_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} GRF_{x,t} \\ GRF_{y,t} \end{bmatrix} \quad ④$$

ここで、 GRF_x および GRF_y は地面反力の水平成分ベクトル、 θ は CGV と Y 軸の間の角度、 F_{pv} は地面反力の CGV 方向の成分、 F_{nv} は地面反力の CGV に対して垂直方向の成分、 t はそれぞれの時刻である。

3. 算出項目

(1) 30m 直線走およびジグザグ走タイム

光電管を用いて 30m 直線走および 30m ジグザグ走のタイムを計測した。スタートはスタンディングスタートとし、被験者に後方の足で圧力センサーを踏ませ、足が地面から離

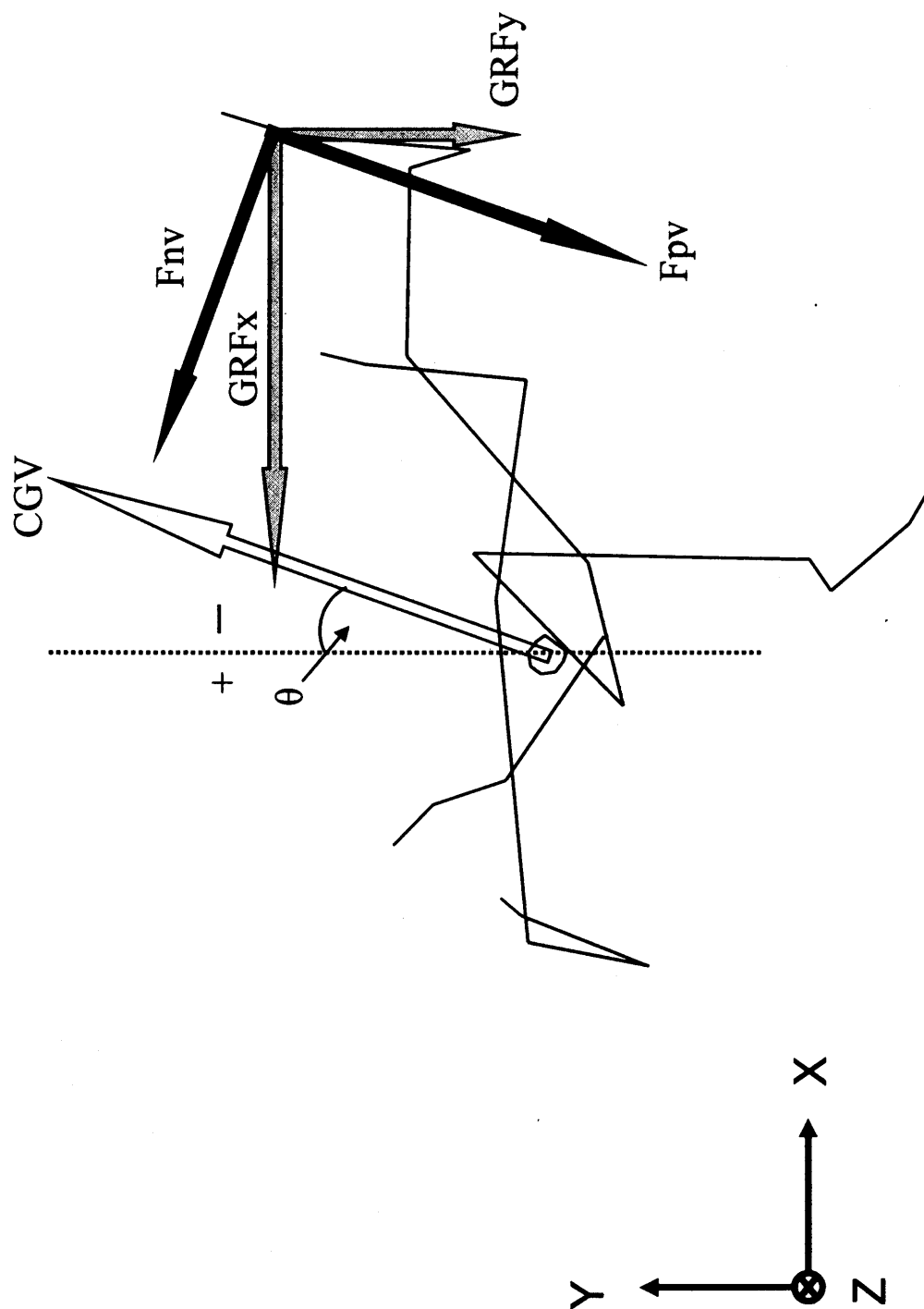


Figure 4-3 Resolving the horizontal component of the ground reaction force.

れた瞬間をスタートとした。

(2) 方向転換タイム

ジグザグ走タイムと直線走タイムの差を方向転換タイム (Tcrd) とした。

(3) 方向転換走指数 (lcrd)

図 4-4 は、横軸を方向転換角度、縦軸をジグザグ走における平均速度とし、被験者 A および B のサイドステップにおける平均速度を示したものである。それぞれの平均速度を最小二乗法を用いて直線近似し、その傾きを算出した。ここで、直線走は、方向転換角度が 0 度のジグザグ走であると考えられるため、切片は直線走における平均速度とした。この傾きの絶対値を切片で除すことによって方向転換走指数 (lcrd) を算出した。つまり、lcrd は、方向転換角度の増大に伴う平均走速度の減少率を示すものである。

(4) 身体重心速度

図 4-5 に示したように、本研究ではターンの前後 1 歩を分析対象としたため、ターン前、ターン時およびターン後の支持期を、それぞれ SP1, SP2 および SP3 とし、それぞれの支持期において身体重心速度が最小となる時点を支持期中間とした。それぞれの支持期における接地時 (FS1, FS2 および FS3)、支持期中間 (MS1, MS2 および MS3) および離地時 (TO1, TO2 および TO3) における身体重心速度を算出した。

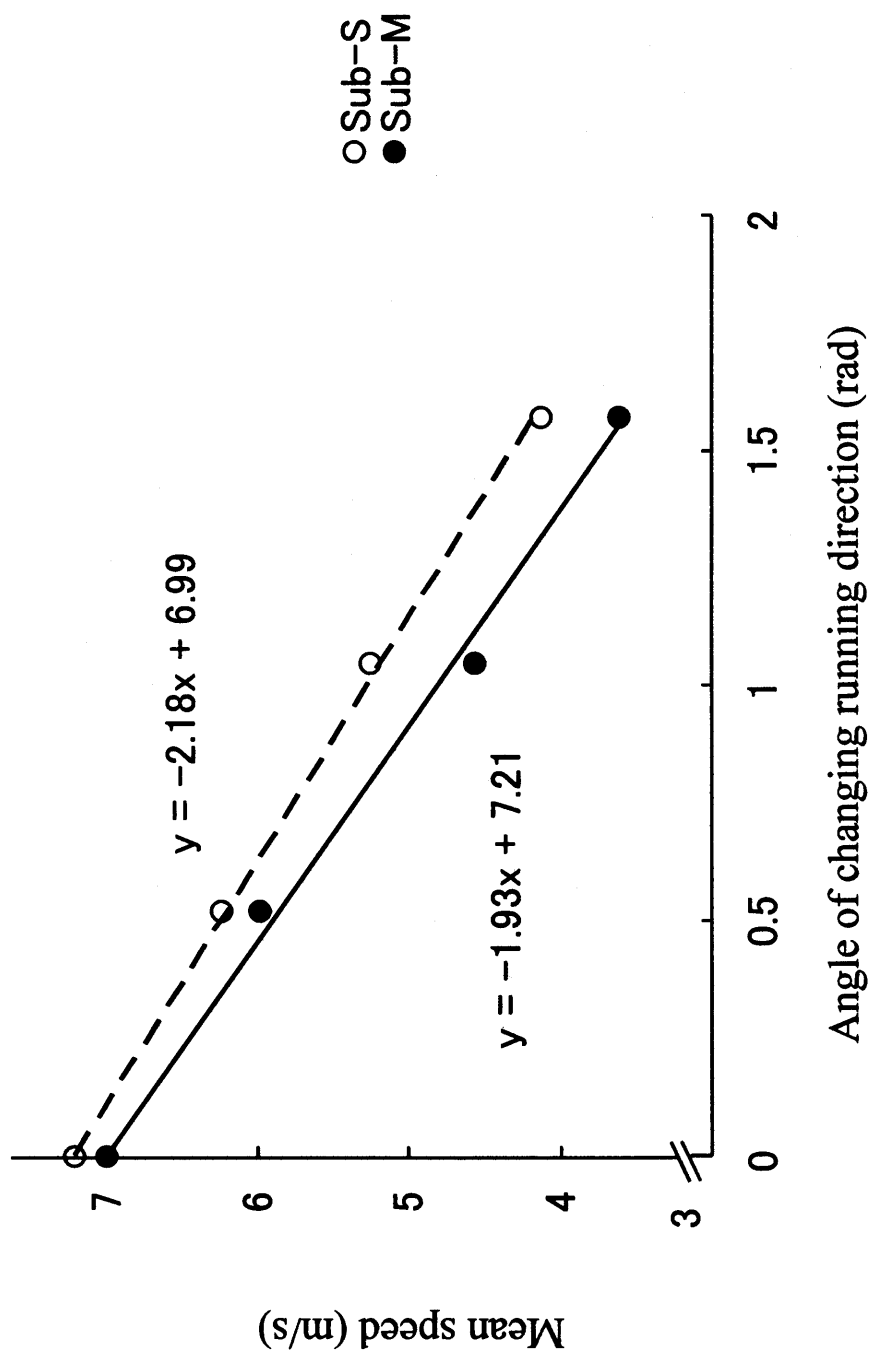


Figure 4-4 Relationship between the mean speed and the angle of changing running direction.

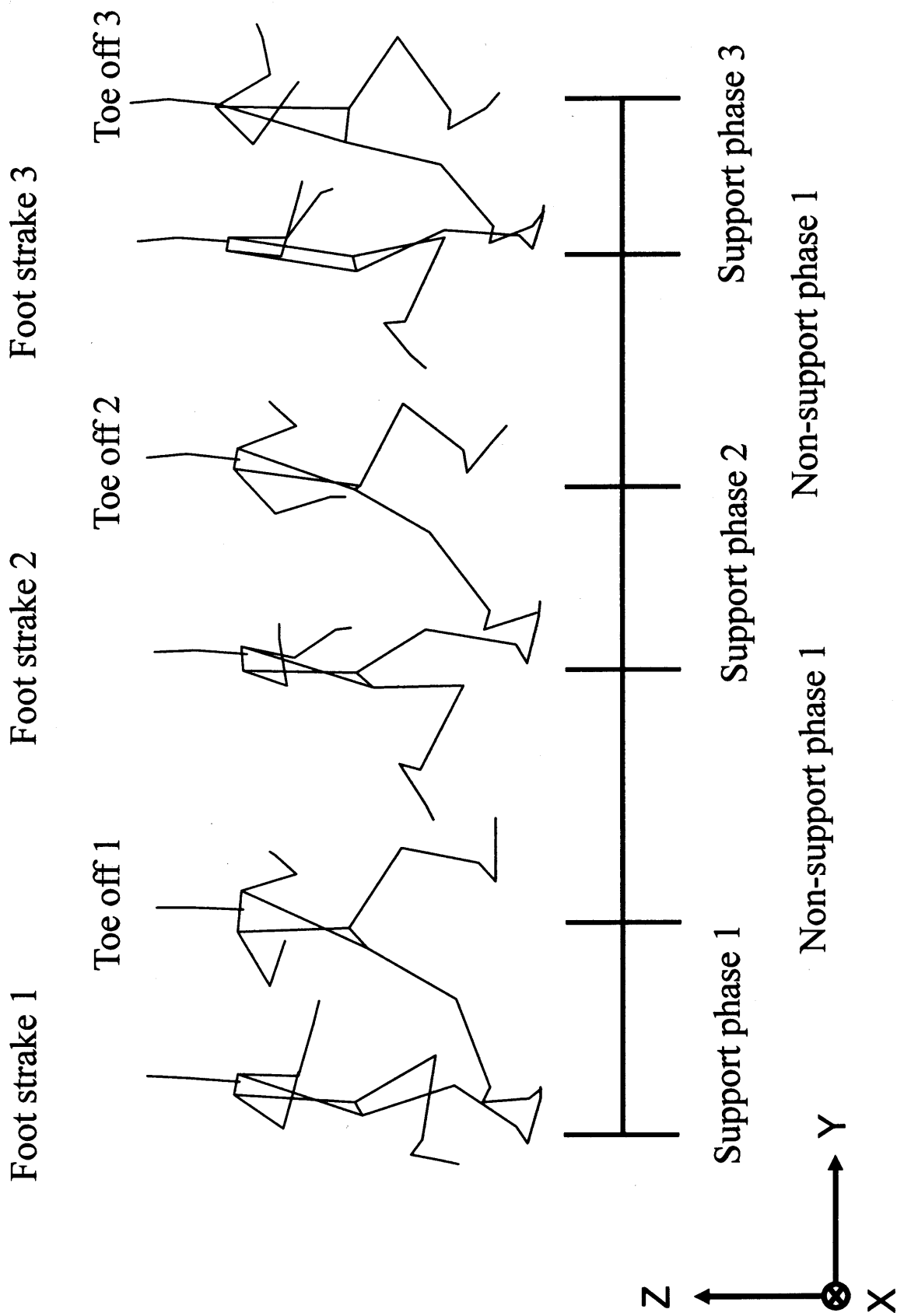


Figure 4-5 Definition of phase during changing running direction.

(5) 方向転換角度および角速度

それぞれの支持期における接地および離地時における身体重心速度の水平成分ベクトルの間の角度を方向転換角度とした (式⑤)。

$$CA = \cos^{-1} \left(\frac{CGV_{fs} \cdot CGV_{to}}{|CGV_{fs}| |CGV_{to}|} \right) \quad ⑤$$

ここで、CA は方向転換角度、CGV は水平面における身体重心速度ベクトル、fs および to はそれぞれ接地および離地の時刻である。

さらに、方向転換角度を支持時間で除すことにより方向転換角速度を算出した。

(6) 身体重心速度の水平成分ベクトルに対して垂直方向の平均力

支持期における身体重心速度の水平成分ベクトルに対して垂直方向の地面反力 (F_{nv}) を平均したもの。ターン動作における支持期での身体重心の運動は、回転運動とみなすことができる。すなわち、F_{nv} は身体重心が回転運動をする時の向心力であると考えられる。

4. 統計処理

算出された各項目データについて、ステップおよび方向転換角度を要因とする分散分析を行った。ここで、有意な F 比がみられたものについては、LSD 法により多重比較検定を行った。また、各分析項目間における相関の強さを検定するために、ピアソンの相関係数 r を算出した。なお、有意水準は、5%、1%、0.1%とした。

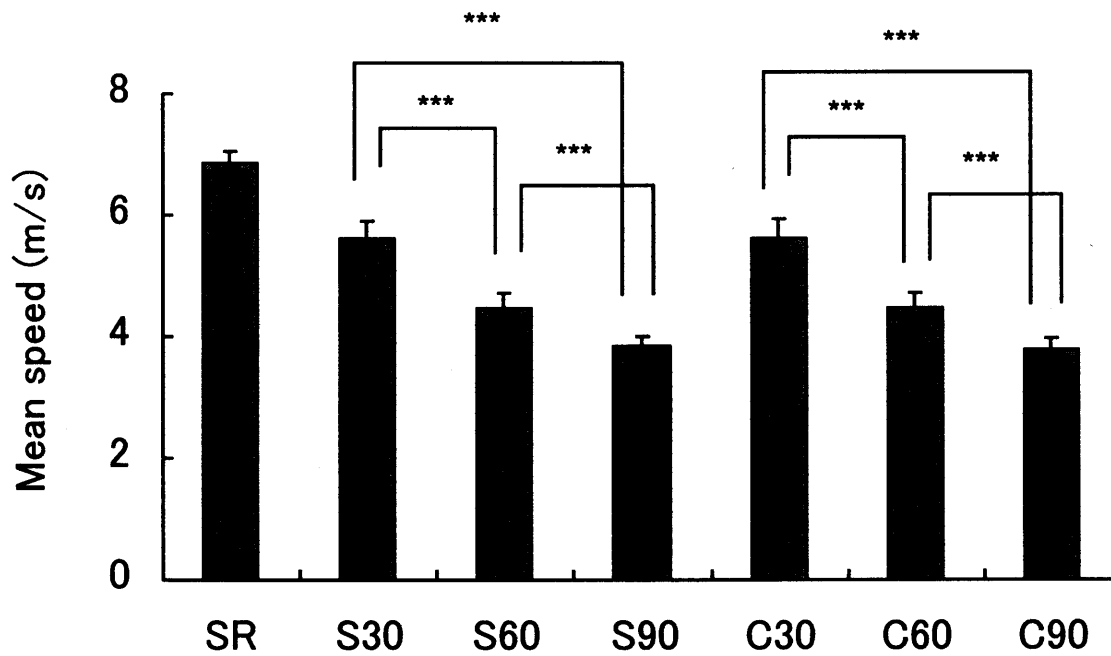
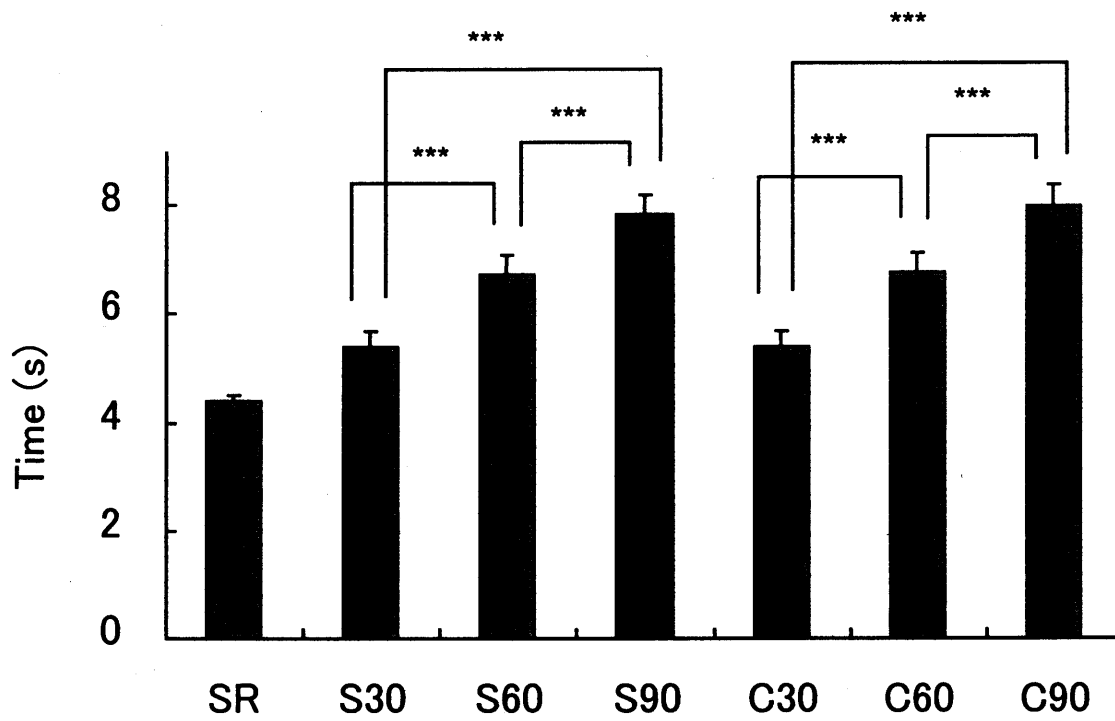
V. 結果

1. タイムおよび平均速度

図 5-1 は、30m直線走 (SR) およびサイドステップ (SS) とクロスステップ (CS) におけるジグザグ走 (ZR) のタイムおよび平均速度を示したものである。SR タイムは 4.38 ± 0.13 秒, ZR タイムは, SS の 30 度 (S30) で 5.37 ± 0.30 秒, CS の 30 度 (C30) で 5.38 ± 0.31 秒, SS の 60 度 (S60) で 6.73 ± 0.37 秒, CS の 60 度 (C60) で 6.75 ± 0.37 秒, SS の 90 度 (S90) で 7.84 ± 0.34 秒, CS の 90 度 (C90) で 7.98 ± 0.40 秒であった。ZR タイムは, SS および CS のどちらにおいても, 60 度 (60) および 90 度 (90) よりも 30 度 (30) で短く, 90 よりも 60 で短かった (いずれも $p < 0.001$)。また, ZR における平均速度は, SS および CS のどちらにおいても, 60 および 90 よりも 30 で大きく, 90 よりも 60 で大きかった (いずれも $p < 0.001$)。

図 5-2 は, SS および CS における ZR タイムと SR タイムとの関係を示したものである。S30, C30, S60, C60 および S90 において, SR タイムと ZR タイムとの間に有意な正の相関がみられたが (それぞれ $r=0.403$, $p < 0.01$; $r=0.336$, $p < 0.05$; $r=0.478$, $p < 0.001$; $r=0.349$, $p < 0.05$; $r=0.353$, $p < 0.05$), C90 では SR タイムと ZR タイムとの間に有意な相関はみられなかった。

図 5-3 は, SS および CS における方向転換タイムを示したものである。方向転換タイムは, S30 で 0.99 ± 0.27 秒, S60 で 2.35 ± 0.33 秒, S90 で 3.46 ± 0.32 秒, C30 で 1.00 ± 0.29 秒, C60 で 2.37 ± 0.35 秒, C90 で 3.60 ± 0.39 秒であった。方向転換タイムは, SS および CS の



* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

Figure 5-1 Time and mean speed of the 30m straight running and the zigzag running.

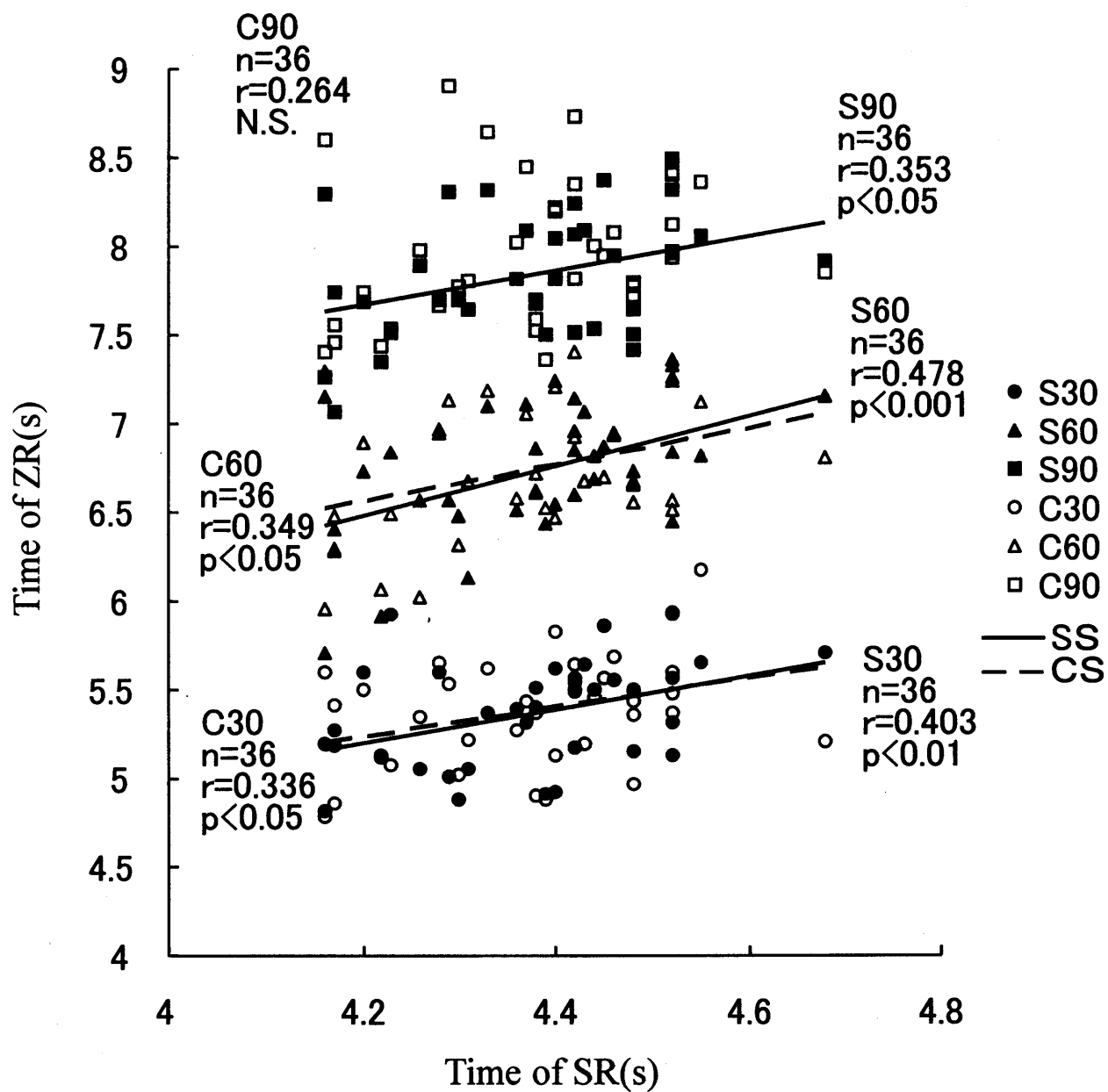


Figure 5-2 Relationship between the time of 30m straight running(SR) and the time of zigzag running(ZR).

どちらにおいても、60 および 90 よりも 30 で小さく、90 よりも 60 で小さかった (いずれも $p<0.001$)。また、SS および CS のいずれにおいても、ZR タイムと方向転換タイムとの間に有意な正の相関がみられた (S30 $r=0.904$, $p<0.001$; S60 $r=0.941$, $p<0.001$; S90 $r=0.930$, $p<0.001$; C30 $r=0.914$, $p<0.001$; C60 $r=0.940$, $p<0.001$; C90 $r=0.952$, $p<0.001$)。

方向転換走指数 (Icrd) は、SS で 0.30 ± 0.02 、CS で 0.31 ± 0.02 であり、Icrd はステップによる差はみられなかった。図 5-4 は、SS における Icrd と CS における Icrd との関係を示したものである。SS における Icrd と CS における Icrd との間に有意な正の相関がみられた ($r=0.790$, $p<0.001$)。一方、SS および CS の Icrd と SR タイムとの間に有意な相関はみられなかった。

図 5-5 は、SS および CS における Icrd と ZR タイムおよび方向転換タイムとの相関係数を示したものである。図中の実線と破線は、5%と 0.1%の有意水準を示している。SS および CS のいずれの試技においても、ZR タイムと Icrd との間に有意な正の相関がみられた (S30 $r=0.525$, $p<0.001$; S60 $r=0.706$, $p<0.001$; S90 $r=0.701$, $p<0.001$; C30 $r=0.669$, $p<0.001$; C60 $r=0.736$, $p<0.001$; C90 $r=0.780$, $p<0.001$)。また、SS および CS のいずれの試技においても、方向転換タイムと Icrd との間に有意な正の相関がみられた (S30 $r=0.664$, $p<0.001$; S60 $r=0.869$, $p<0.001$; S90 $r=0.825$, $p<0.001$; C30 $r=0.819$, $p<0.001$; C60 $r=0.879$, $p<0.001$; C90 $r=0.887$, $p<0.001$)。

2. 身体重心速度

図 5-6 は、ターン前後 3 歩の接地時 (FS)、支持期中間 (MS) および離地時 (TO) にお

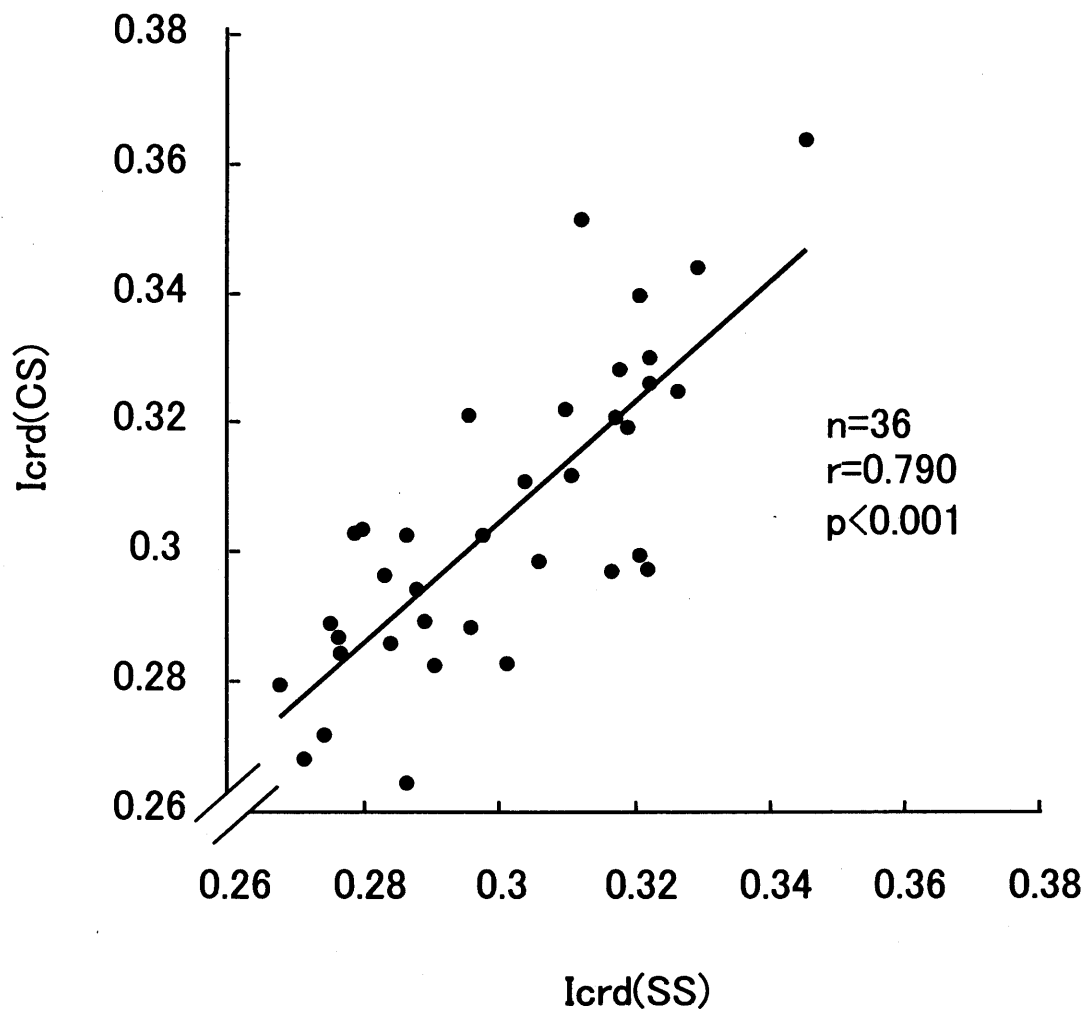


Figure 5-4 Relationship between the Index of changing running direction for side step(SS) and that for cross step(CS).

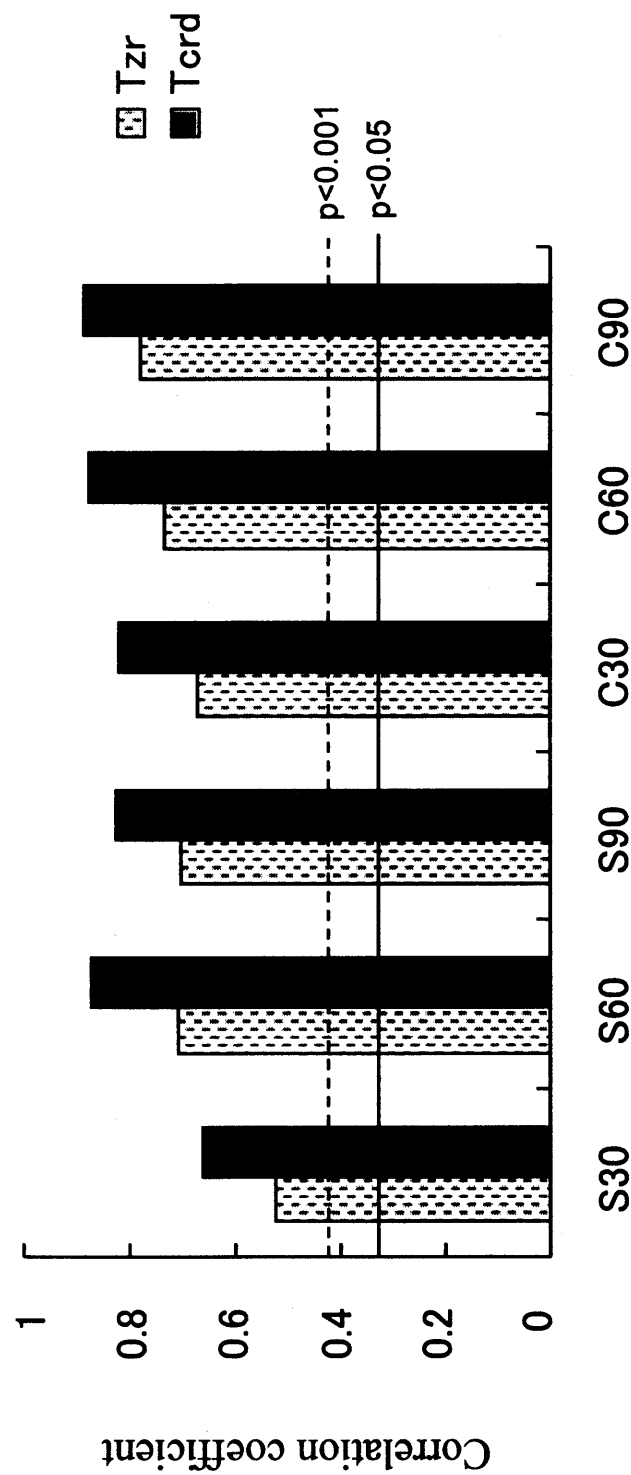


Figure 5-5 Correlation coefficients between the Index of changing running direction of zigzag running and time of zigzag running(Tzr) and time of changing running direction(Tcrd).

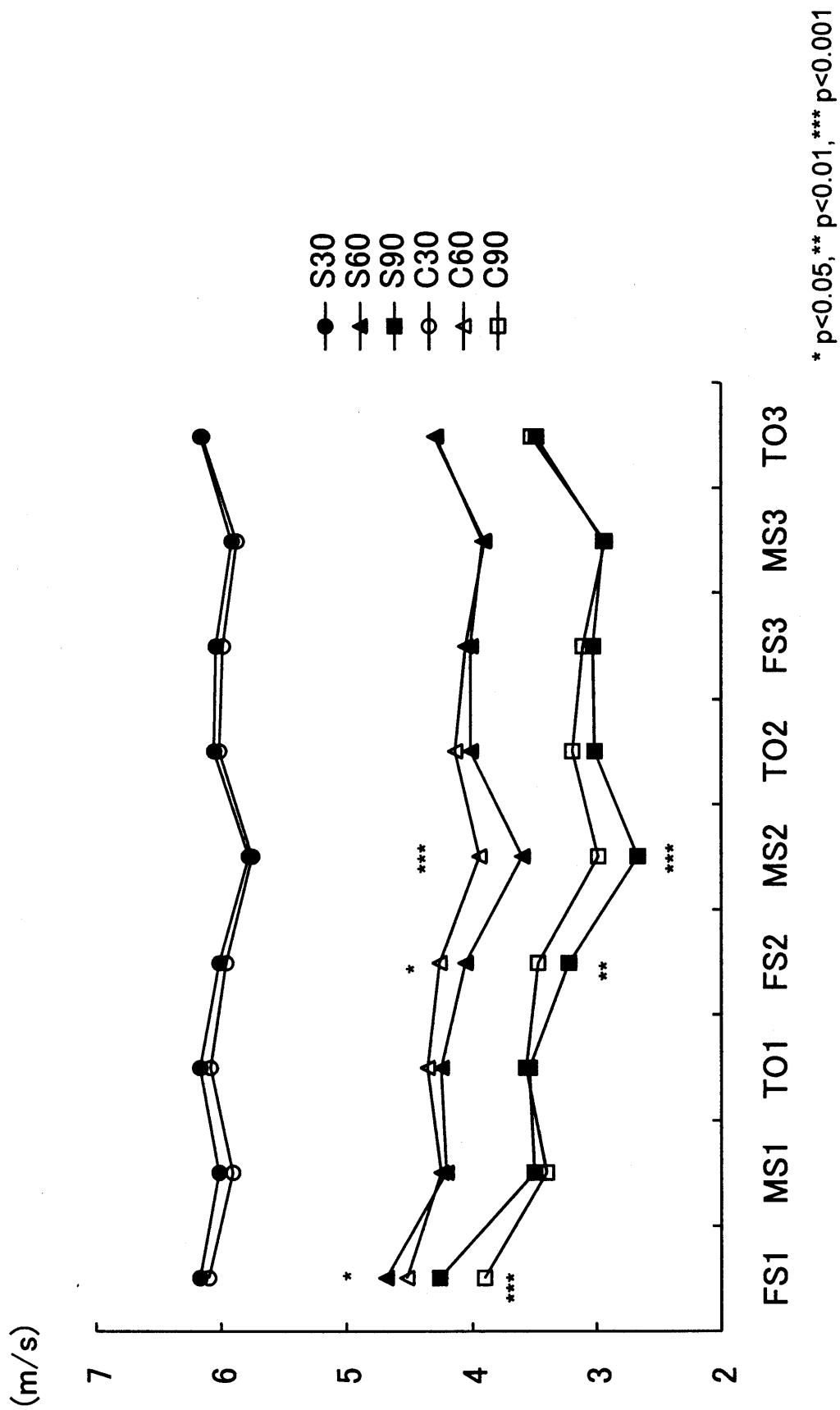


Figure 5-6 The horizontal velocity of the center of gravity (CGV) at foot strike(FS), mid-support(MS) and toe off(TO) for side step and cross step.

ける身体重心速度 (CGV) の水平成分を示したものである。FS1 における CGV は、S30 で $6.17 \pm 0.49 \text{ m/s}$ 、S60 で $4.68 \pm 0.36 \text{ m/s}$ 、S90 で $4.26 \pm 0.41 \text{ m/s}$ 、C30 で $6.10 \pm 0.48 \text{ m/s}$ 、C60 で $4.52 \pm 0.33 \text{ m/s}$ 、C90 で $3.90 \pm 0.43 \text{ m/s}$ であった。60 および 90 における CGV は、FS1 から MS2 まで減少し、MS2 から TO3 にかけて増大していた。一方、30 における CGV は、FS1 から TO3 まで大きな増減はみられなかった。SS および CS における CGV は、FS1 から TO3 のいずれにおいても 60 および 90 よりも 30 で大きく (いずれも $p < 0.001$)、90 よりも 60 で大きかった (いずれも $p < 0.001$)。また、SS および CS の CGV は、30 では FS、MS および TO のいずれにおいてもステップによる差はみられなかったが、60 および 90 では、FS1 で SS の方が CS よりも大きく ($p < 0.05$, $p < 0.001$)、FS2 および MS2 で CS の方が SS よりも大きかった (FS2 ; $p < 0.05$, $p < 0.01$, MS2 ; どちらも $p < 0.001$)。

図 5-7 は、ターン前後 3 歩の FS、MS および TO における平均速度に対する相対速度 (RV) を示したものである。SS および CS のどちらにおいても、RV は、FS1 では 90 が最も大きな値を示したが、その後大きく減少し、MS2 では最も小さかった。また、TO3 における RV は、いずれの試技においても約 105% であった。60 における RV は、FS1 で C60 よりも S60 で大きく ($p < 0.01$)、FS2 および MS2 で S60 よりも C60 で大きかった ($p < 0.05$, $p < 0.001$)。90 における RV は、FS1 で C90 よりも S90 で大きく ($p < 0.001$)、FS2、MS2 および TO3 で S90 よりも C90 で大きかった (いずれも $p < 0.001$)。また、30 における RV は、FS1 から TO3 のいずれにおいてもステップによる差はみられなかった。

表 5-1 は、SS および CS の支持期 1 (SP1)、支持期 2 (SP2) および支持期 3 (SP3) における CGV の減少量および増大量を示したものである。SP1 における CGV の減少量は、

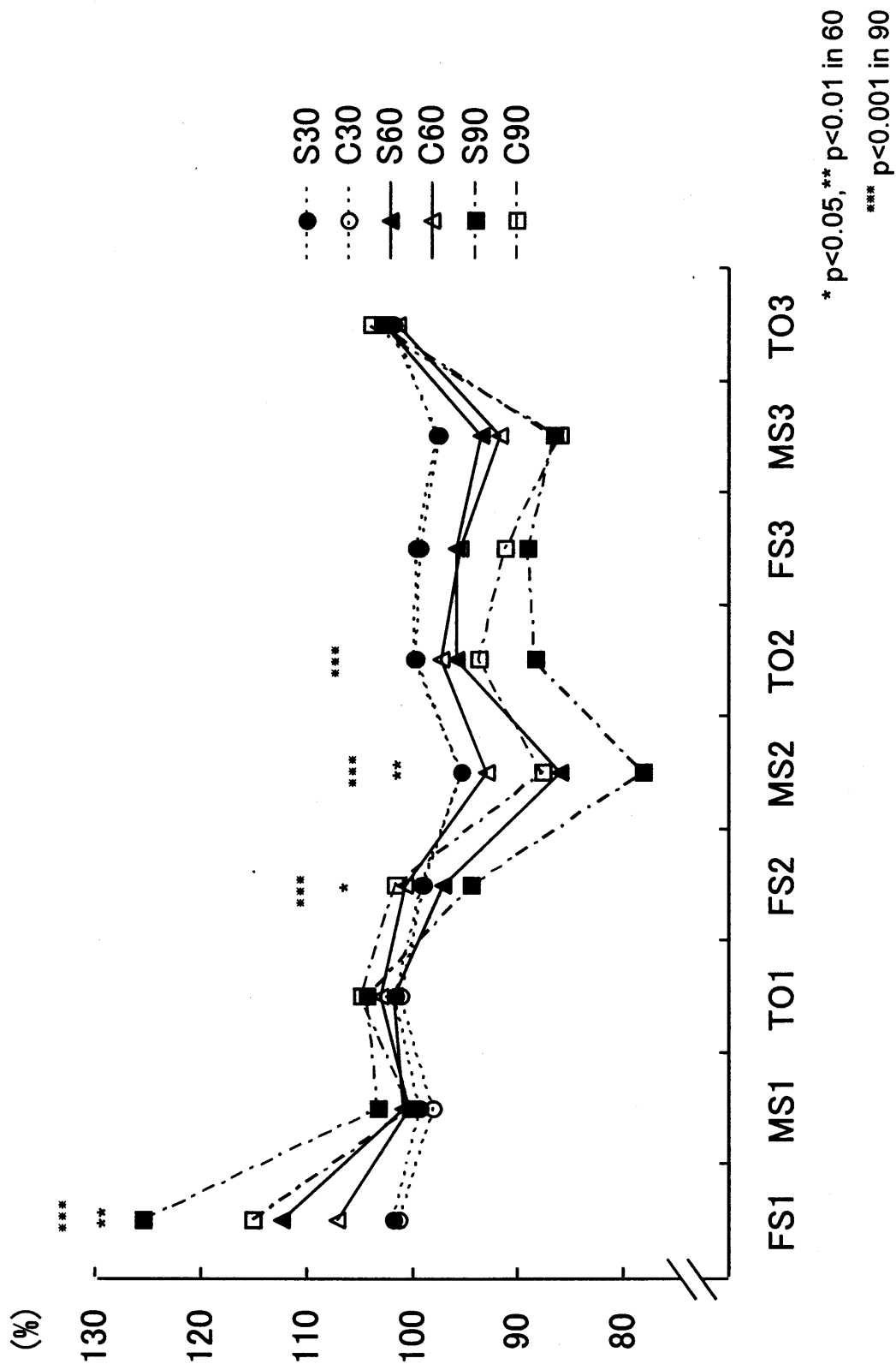


Figure 5-7 The percentage of velocity of the center of gravity relative to mean CGV (RV) at foot strike(FS), mid-support(MS) and toe off(TO) for side step and cross step.

Table 5-1 The magnitude of changes CG velocity in 3 support phase for side step and cross step.

	S30	S60	S90	C30	C60	C90	Significance	
							step	angle
DCC(m/s)								
SP1	-0.16±0.10	-0.48±0.21	-0.76±0.22	-0.20±0.11	-0.28±0.19	-0.50±0.23	S60>>>C60 S90>>>C90	S90>>>S60>>>S30 C90>>>C60,C30
SP2	-0.23±0.14	-0.46±0.12	-0.56±0.20	-0.20±0.11	-0.32±0.21	-0.47±0.30	S60>C60	S90,S60>>>S30 C90>C60>>>C30
SP3	-0.11±0.07	-0.10±0.10	-0.09±0.13	-0.11±0.09	-0.16±0.14	-0.18±0.18	C90>S90	
ACC(m/s)								
SP1	0.15±0.11	0.04±0.06	0.04±0.06	0.18±0.12	0.12±0.11	0.17±0.15	C60>S60 C90>>S90	S30>>>S60,S90
SP2	0.27±0.10	0.40±0.16	0.35±0.20	0.26±0.10	0.19±0.14	0.20±0.15	S60>>>C60 S90>>C90	S60>>S30
SP3	0.24±0.09	0.38±0.13	0.54±0.27	0.28±0.09	0.41±0.13	0.60±0.19		S90>>>S60>>S30 C90>>>C60>>C30

DCC : deceleration in support phase

ACC : acceleration in support phase

>p<0.05, >>p<0.01, >>>p<0.001

60 および 90 では、CS よりも SS で大きかった (どちらも $p<0.001$)。CGV の増大量は、60 および 90 のどちらにおいても SP1 では SS よりも CS で大きく ($p<0.05$, $p<0.01$)、SP2 では CS よりも SS で大きかった ($p<0.001$, $p<0.01$)。

SS における CGV の減少量は、SP1 では 30 よりも 60 および 90 で大きく (どちらも $p<0.001$)、60 よりも 90 で大きかった ($p<0.001$)。また、SP2 では、30 よりも 60 および 90 で大きかった (どちらも $p<0.001$)。CS における CGV の減少量は、SP1 では 30 および 60 よりも 90 で大きく (どちらも $p<0.001$)、SP2 では 30 よりも 60 および 90 で大きく (どちらも $p<0.001$)、60 よりも 90 で大きかった ($p<0.05$)。SP3 における CGV の増大量は、SS および CS のどちらにおいても 30 および 60 よりも 90 で大きく (いずれも $p<0.001$)、30 よりも 60 で大きかった (どちらも $p<0.01$)。

3. 方向転換角度

SS および CS における SP1, SP2 および SP3 における方向転換角度の和は S30 で $26.58 \pm 4.93^\circ$, C30 で $28.86 \pm 4.29^\circ$, S60 で $51.84 \pm 7.63^\circ$, C60 で $52.36 \pm 7.12^\circ$, S90 で $76.48 \pm 12.3^\circ$, C90 で $79.08 \pm 8.05^\circ$ であった。図 5-8 は、SS および CS の SP1, SP2 および SP3 における方向転換角度の和に対するそれぞれの支持期の割合を示したものである。方向転換角度の割合は、30, 60 および 90 のいずれにおいても、SP1 では SS よりも CS で大きく ($p<0.01$, $p<0.001$, $p<0.001$)、SP2 では CS よりも SS で大きかった ($p<0.01$, $p<0.001$, $p<0.001$)。

図 5-9 は、30, 60 および 90 における方向転換角速度を示したものである。SS における方向転換角速度は、SP1 では 30 よりも 90 で大きかった ($p<0.05$)。また、SP2 および SP3

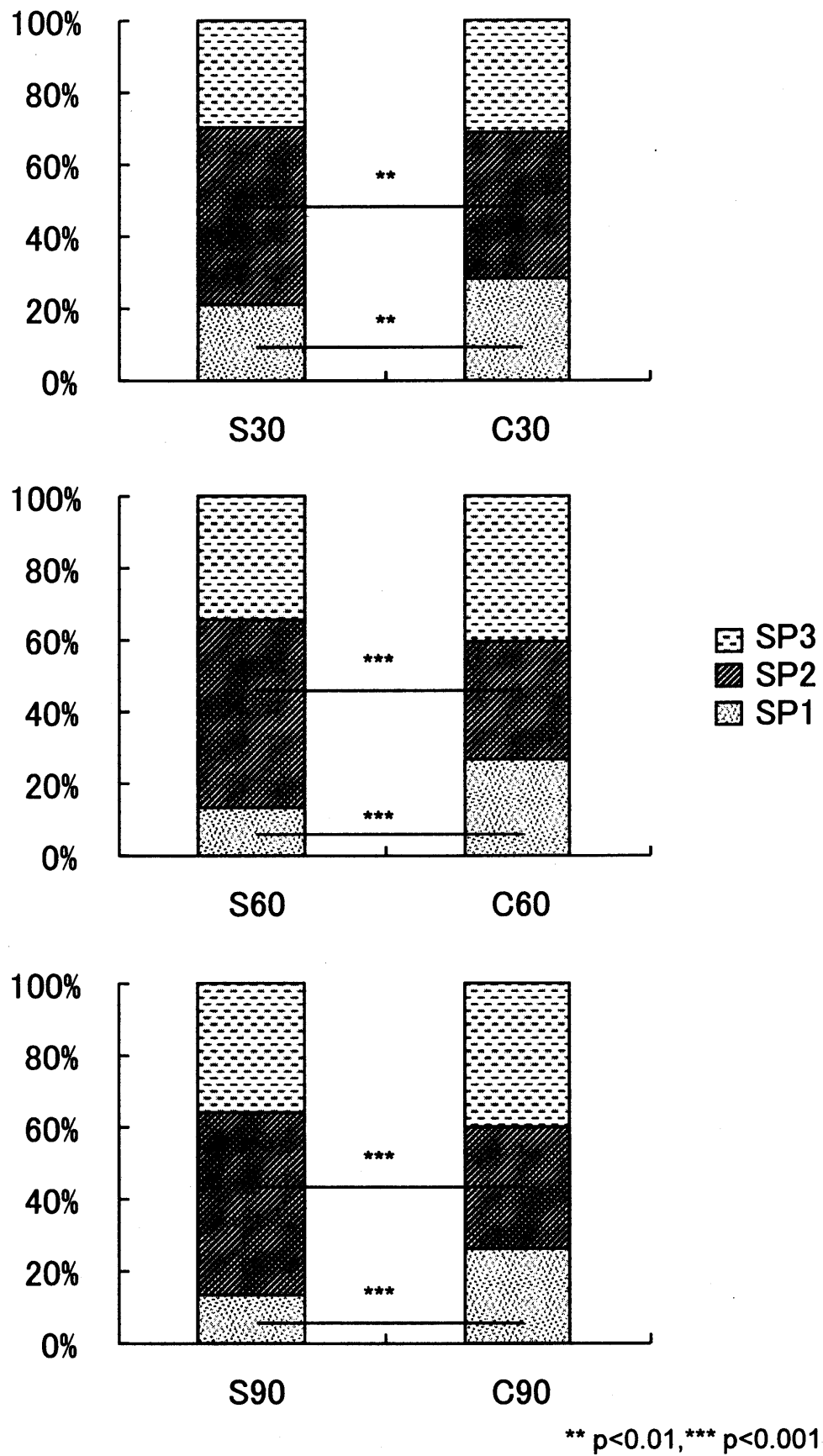
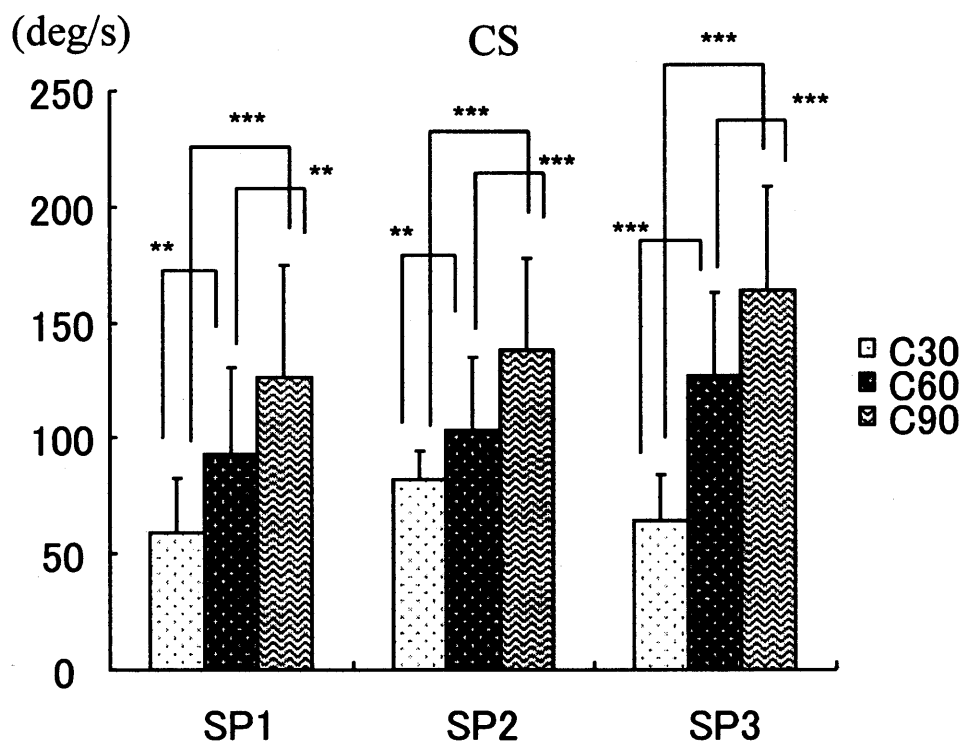
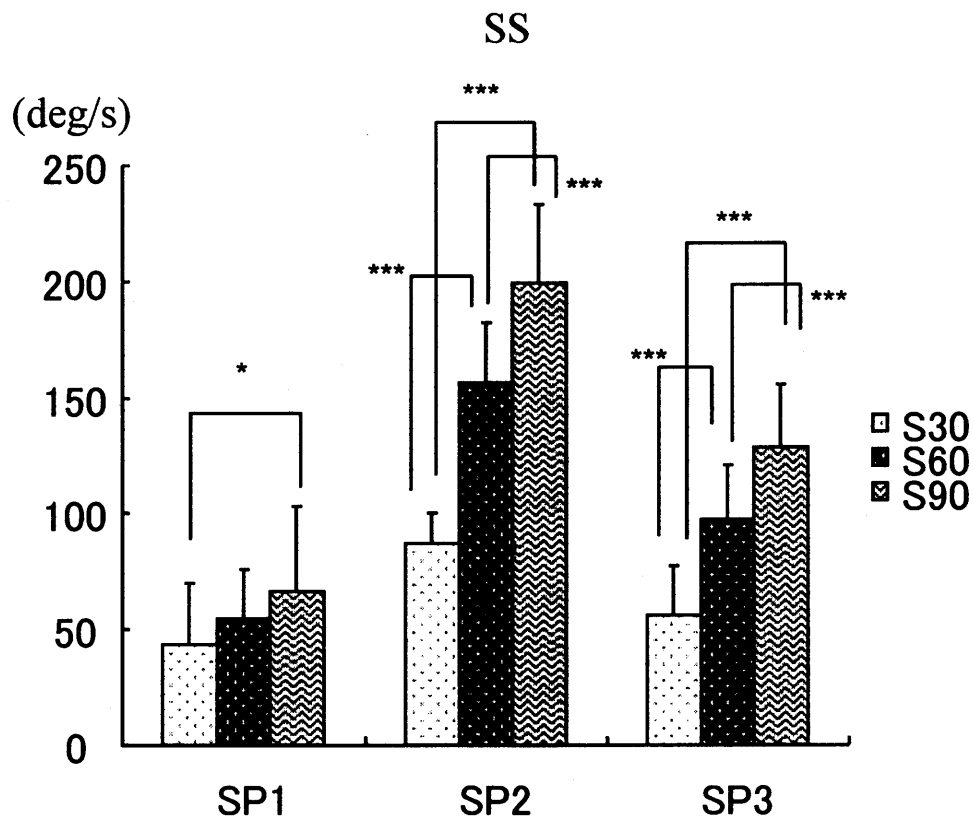


Figure 5-8 The percentage of the angle of change in the direction of the velocity of the center of gravity at each support phases.



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Figure 5-9 The ratios of changing direction of CG velocity to support time in SP1, SP2 and SP3.

では 30 よりも 60 および 90 で大きく 60 よりも 90 で大きかった (いずれも $p<0.001$). CS における方向転換角速度は, SP1, SP2 および SP3 のいずれにおいても 30 よりも 60 および 90 で大きく 60 よりも 90 で大きかった.

4. 地面反力

表 5-2 は, SP1, SP2 および SP3 における CGV の垂直方向の平均力 (MF_{nv}) を示したものである. MF_{nv} は, SP1 では 30, 60 および 90 のいずれにおいても SS よりも CS で大きく (それぞれ $p<0.05$, $p<0.001$, $p<0.001$), SP2 では 60 および 90 で CS よりも SS で大きく (どちらも $p<0.001$), SP3 では 60 および 90 で SS よりも CS で大きかったが ($p<0.01$, $p<0.001$), 30 では SP2 および SP3 のどちらにおいてもステップによる差はみられなかった.

SP3 における MF_{nv} は, SS では 30 よりも 90 で大きく ($p<0.05$), CS では 30 よりも 60 および 90 で大きかったが, SP1 および SP2 における MF_{nv} は方向転換角度による差はみられなかった. また, SP1 における MF_{nv} は, 30, 60 および 90 のいずれにおいても CS の方が SS よりも大きかった (30 $p<0.05$; 60 および 90 $p<0.001$).

図 5-10 は, SS および CS における MF_{nv} と方向転換角速度との関係を示したものである. SS および CS のいずれにおいても, MF_{nv} と方向転換角速度との間に有意な正の相関がみられた (S30 $r=0.975$, $p<0.001$; S60 $r=0.962$, $p<0.001$; S90 $r=0.946$, $p<0.001$; C30 $r=0.958$, $p<0.001$; C60 $r=0.937$, $p<0.001$; C90 $r=0.892$, $p<0.001$).

Table 5-2 The mean normal force to the velocity of the the center of gravity(MF_{nv}) in 3 support phase.

		MF _{nv} (N/kg)	S30	S60	S90	C30	C60	C90	Significance	
									step	angle
40	SP1	5.00±2.72	4.78±1.78	4.80±1.88	6.40±2.49	7.44±2.98	7.99±2.58		C30>S30 C60>>>S60 C90>>>S60	
	SP2	9.23±1.33	10.58±1.63	10.14±1.51	8.75±1.43	7.91±2.26	7.80±1.87		S60>>>C60 S90>>>C90	
	SP3	6.12±2.13	7.10±1.64	7.24±1.55	6.90±2.15	8.98±2.00	8.87±2.02		S60>>>C60 S90>>C90	S90>S30 C90,C60>>>C30

>p<0.05, >>p<0.01, >>>p<0.001

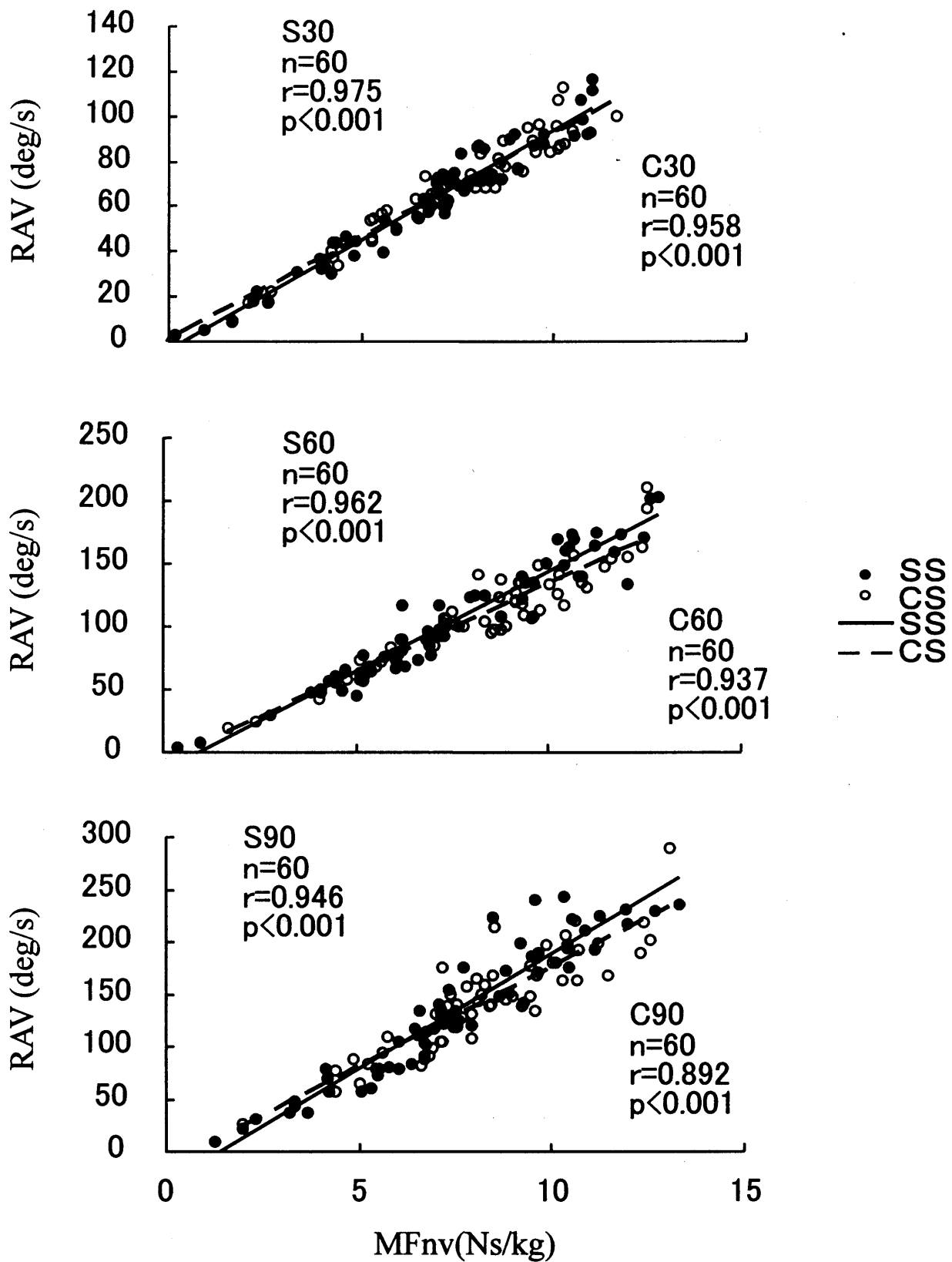


Figure 5-10 Relationships between the mean normal force to the velocity of the center of gravity(MFnv) and the ratio of the angle of changing direction of the velocity of the center of gravity to support time(RAV).

VI. 考察

1. ジグザグ走タイムと方向転換能力との関係

図 5-1 に示したように、30m 直線走 (SR) およびジグザグ走 (ZR) における平均走速度は、SR で $6.88 \pm 0.22 \text{ m/s}$ 、サイドステップ (SS) の 90 度 (S90) で $3.83 \pm 0.21 \text{ m/s}$ 、クロスステップ (CS) の 90 度 (C90) で $3.73 \pm 0.22 \text{ m/s}$ あった。藤本 (1994) は、学生ハンドボール選手に 25m の SR および ZR (90 度) を行わせた時の平均走速度は、25m の直線走で約 7m/s、ジグザグ走で約 4.8m/s であったと報告している。つまり、本研究におけるジグザグ走の平均走速度は、藤本 (1994) の研究での平均走速度よりも小さかった。

C90 を除いて SR タイムと ZR タイムとの間に有意な正の相関がみられた (図 5-2)。また、ZR タイムと方向転換タイムとの間に有意な正の相関がみられた。中山 (1998) は、ターンの程度が強くなればなるほど、方向転換走のタイムと直線走のタイムとの相関が弱くなり、直線走能力の以外の能力が関係することを示唆している。本研究では、方向転換角度が大きくなるほど直線走との相関係数が小さくなる傾向はみられなかったが、その相関係数は 0.264 から 0.478 と小さい一方で、ZR タイムと方向転換タイムとの相関係数は 0.904 から 0.952 と大きかった。

田中ら (1999) は、方向転換の程度が強くなるほど、直線走タイムとの相関よりも他の方向転換走のタイムとの相関が強くなることを報告している。この結果は、優れたターン技術を有するものは、ターンの程度が強くなっても走速度の減少が小さいことを示唆していると考えられる。すなわち、ターン技術を評価するためには、方向転換角度が大きくな

っても高い疾走速度を維持していることを評価する必要があると考えられる。そこで本研究では、直線走およびジグザグ走における平均走速度を用いて方向転換走指数（lcrd）を算出した。SS および CS のどちらの lcrd も SR タイムとの間には有意な相関はみられなかった。

図 6-1 は、被験者 N および被験者 H の SS における方向転換角度と ZR の平均速度との関係を示したものである。被験者 N は SR の平均走速度が大きく、lcrd が大きかった典型例で、被験者 H は SR の平均走速度が小さく、lcrd が小さかった典型例である。また、被験者 N および H の lcrd は、それぞれ 0.35 と 0.27 であった。被験者 N は、SR における平均走速度が大きいですが、方向転換角度が大きくなるにしたがって走速度が大きく低下している。一方、被験者 H は、SR における平均走速度は小さいが、方向転換角度が大きくなっても走速度の低下は小さく、S60 および S90 における平均走速度は被験者 N よりも大きかった。つまり、ZR における方向転換角度の増大に伴う疾走速度の低下は、直線走能力ばかりではなく、ターン技術によって影響されることを示していると考えられる。

また、SS および CS のいずれにおいても、lcrd と ZR タイムおよび方向転換タイムとの間に有意な正の相関がみられた（図 5-5）。また、SS における lcrd と CS における lcrd との間に有意な正の相関がみられた（図 5-4）。すなわち、SS において素早くターンを行っていたものは、CS においても素早くターンを行っていたと考えられ、SS と CS の間に素早くターンするための共通の技術があることを示唆していると考えられる。

以上のことは、方向転換角度の増大に伴う疾走速度の低下にはターン技術が影響していること、lcrd がターン技術を評価する指標の 1 つになり得ることを示唆するものであろう。

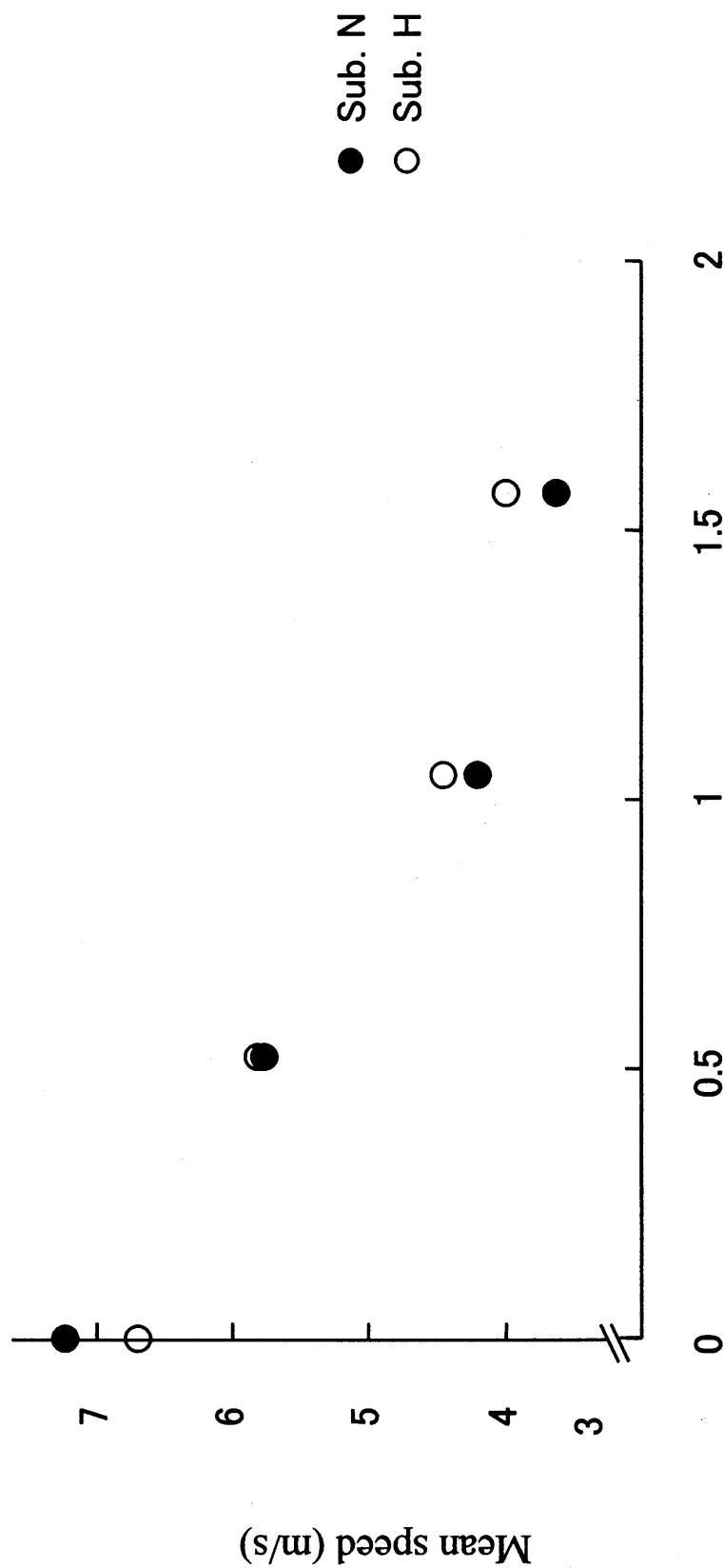


Figure 6-1 Relationships between the mean speed and the angle of changing running direction for subject N and H.

2. ステップによるターンの違い

3 ステップにおける方向転換角度の和に対する各ステップの方向転換角度の割合は、30, 60 および 90 のいずれにおいても SP1 では CS の方が大きく、SP2 では SS の方が大きかった (図 5-8). SS および CS における MF_{nv} は SP1 および SP3 では CS の方が大きく、SP2 では SS の方が大きかった (表 5-2). Ohtsuki et al. (1988) は、SS および CS における鉛直および左右方向の地面反力は、SS の方が CS よりも大きかったことを報告している. 方向転換において両脚は交互に接地するため、本研究で行わせた SS は SP1 で CS, SP2 で SS, SP3 で CS, CS は SP1 で SS, SP2 で CS, SP3 で SS となる. すなわち、SP1, SP2 および SP3 のいずれにおいても、SS の方が CS よりも MF_{nv} が大きかったと考えられる.

身体重心速度 (CGV) は、FS1 においては SS の方が CS よりも大きかったが、SP1 における CGV の減少量は SS の方が CS よりも大きく、さらに SS では SP1 における CGV の増大がほとんどみられなかった (図 5-6). また、FS2 および MS2 における CGV は、CS の方が SS よりも大きく、SP2 における CGV の増大量は CS よりも SS で大きかった. すなわち、SS では、SP1 では大きく減速し、MF_{nv} が大きく、かつ CGV が小さい SP2 で大きく方向転換していたと考えられる. 一方、CS では、SP1 における MF_{nv} が大きく、FS1 における CGV が小さいため、SP1 における方向転換の割合が大きくなったと考えられる.

以上のことから、SS では、SP1 において大きく減速することで CGV を小さくし、SP2 で大きくターンしていたのに対し、CS では、CGV の増減が小さく、3 歩で均等にターンしていたことがわかった.

3. 身体重心速度および地面反力の大きさが方向転換角度に及ぼす影響

FS1 における CGV は SS および CS のどちらにおいても、60 および 90 よりも 30 で大きく、90 よりも 60 で大きかった (図 5-6)。また、SS および CS のどちらにおいても、SP1 および 2 における CGV の減少量は方向転換角度が大きくなるにしたがって大きくなり、SP3 における CGV の増大量も方向転換角度が大きくなるにしたがって大きくなった (表 5-1)。Schot et al. (1995) は、方向転換角度が大きい場合では、走速度が小さいにも関わらず、支持期前半における減速方向の力積および支持期後半における加速方向の力積が大きかったと報告している。本研究でも同様の傾向がみられ、90 ではあらかじめ CGV が小さく、さらに大きく減速することで CGV の方向を大きく変化させていたと考えられる。

Chang and Kram (2007) は、半径が異なる円周上を疾走する時の疾走速度は、円の半径のみならず地面反力の大きさによっても制限され、同じ半径の円周上を疾走した場合、地面反力が小さい被験者では、疾走速度が小さかったことを報告している。つまり、身体重心速度の方向の変化は、地面反力の作用によって生じるが、ターンの大きさは疾走速度の大きさにも影響を受けると考えられる。方向転換における身体重心の運動は、支持期ではある回転中心に対する回転運動とみなすことができる。よって、身体重心に作用する F_{nv} は、身体重心が回転運動をする時の向心加速度と考えられる。回転運動では、以下の関係が成り立つ。

$$CGV = r\omega \quad (8)$$

$$F_{nv} = mr\omega^2 \quad (9)$$

ここで、 F_{nv} は地面反力の CGV ベクトルの垂直方向成分、 m は質量、 r は半径、CGV は

身体重心速度， ω は方向転換角速度である．式⑧および⑨より，以下の関係が得られる．

$$\omega = a_{nv} / CGV \quad (10)$$

ここで， a_{nv} は向心加速度である．

これらのことから，方向転換角速度はCGVと向心加速度の割合によって決まることがわかる．図6-2は，全試技における方向転換角速度と支持期における平均のCGV(MV)に対するMF_{nv}の割合との関係を示したものである．方向転換角速度とMVに対するMF_{nv}の割合との間に有意な正の相関がみられた($r=0.996$, $p<0.001$)．このため，方向転換角速度は，F_{nv}の大きさのみならず，CGVの大きさにも影響を受けると考えられる．また，素早くターンを行うためには，CGVが小さいときに大きくターンすることが重要であると考えられる．このため，FS1におけるCGVが大きい場合は，SP1で減速し，SP2およびSP3で大きくターンすることが，FS1におけるCGVが小さい場合は，SP1およびSP2で大きくターンし，SP3で加速することが重要であると考えられる．

図6-3は，FS2におけるCGVとSP2における方向転換角度との関係を示したものである．FS2におけるCGVとSP2における方向転換角度との間には有意な負の相関がみられた．方向転換角度は方向転換角速度と支持時間によって決まる．本研究におけるSP2でのMF_{nv}の平均値は， $9.07 \pm 1.97 \text{ N/kg}$ ，支持時間は 0.17 ± 0.03 秒であった．本研究におけるMF_{nv}および支持時間の平均値から方向転換角度を推測すると，走速度が3m/sでは約30度，6m/sでは約15度，9m/sでは約10度になると考えられる．

以上のことから，方向転換角速度がCGVの大きさに対するMF_{nv}の割合によって決まることがわかった．このため，方向転換角度が大きな場合はあらかじめCGVの大きさを

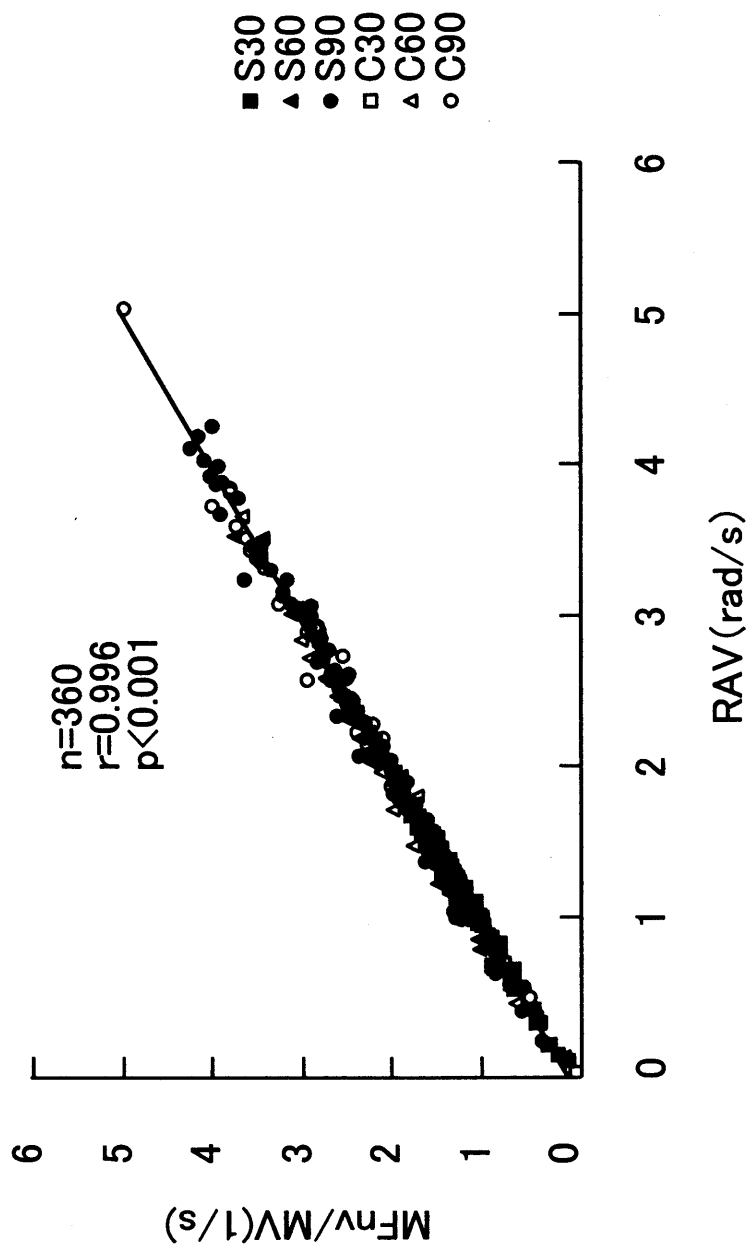


Figure 6-2 Relationship between the ratios of changing direction of CG velocity to support time and the ratios of the mean normal force to velocity of the center of gravity(MF_{nv}) to the mean CG velocity during each support phase.

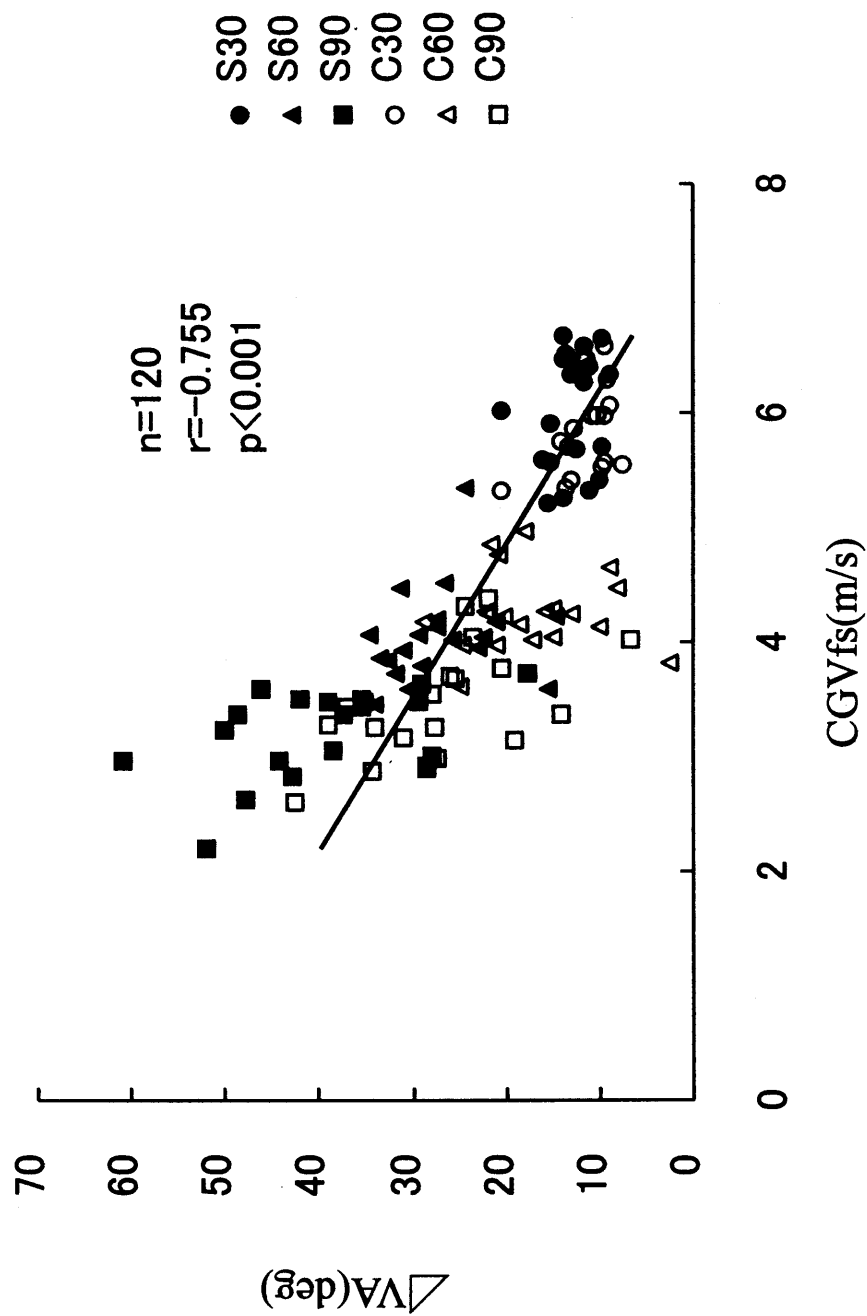


Figure 6-3 Relationship between the magnitude of the velocity of the center of gravity at FS2(Vfs) and the angle of changing direction of the velocity of the center of gravity in support phase2(ΔVA).

小さくし、さらに大きく減速しながらターンを行っていたと考えられる。また、本研究の条件での方向転換角度の最大値は、走速度が 3m/s では約 30 度、6m/s では約 15 度、9m/s では約 10 度になると考えられる。

4. ターン技術の指導への示唆

(1) サイドステップ

図 6-4 は、S60 における被験者 T および K のターン前後 3 歩の FS, MS および TO における CGV の大きさおよび CGV と Y 軸の間の角度を示したものである。被験者 T は、SS における lcrd が 0.29 と小さい典型例で、被験者 K は lcrd が 0.33 と大きい典型例である。

また、被験者 T および K は、共にサッカー部員である。CGV の大きさは、FS1 では被験者 T で 4.59m/s、被験者 K で 4.63m/s と同程度の大きさだったが、被験者 T は、SP1 において大きく減速し、SP3 では大きく加速していた。また、CGV と Y 軸の間の角度は、被験者 T では、SP2 において大きく変化し、SP3 での変化が小さかった一方で、被験者 H は SP3 における変化が大きかった。図 6-5 は、S60 における被験者 T および K のターン前後 3 歩の FS, MS および TO における身体重心の XY 座標を示したものである。身体重心の X 座標の最大値は、被験者 T で 2.15m、被験者 K で 2.51m と被験者 T の方が小さく、被験者 T では、被験者 K よりも内側を進んでいた。すなわち、被験者 T は、ターン前半に大きく減速することで、SP2 で大きくターンし、SP3 では素早く加速していたため、ジグザグ走タイムが短くなったと考えられる。

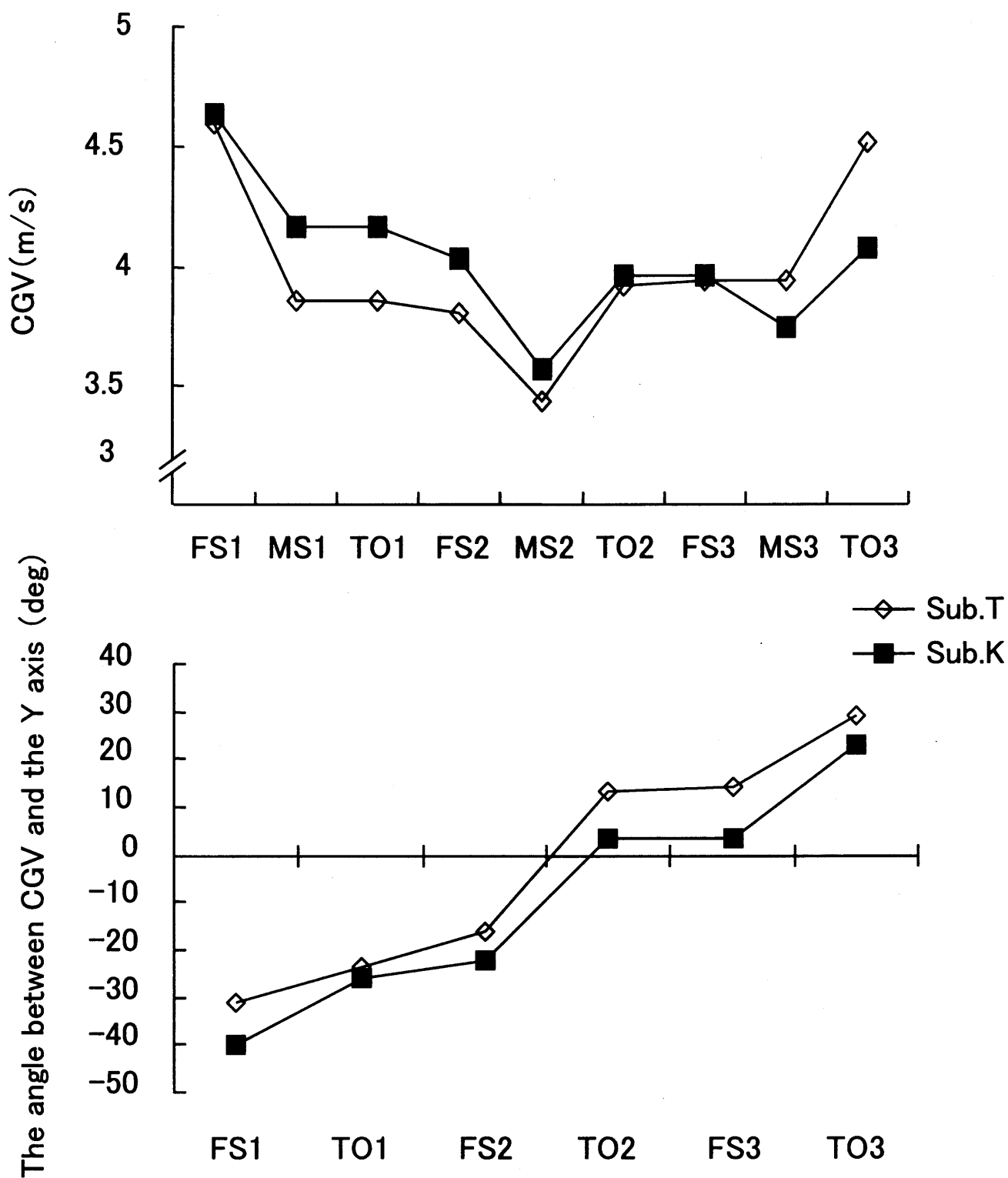


Figure 6-4 The horizontal velocity of the center of gravity (CGV) and the angle between CGV and the Y axis at foot strike(FS), mid-support(MS) and toe off(TO) in 3 support phases for subject T and subject K.

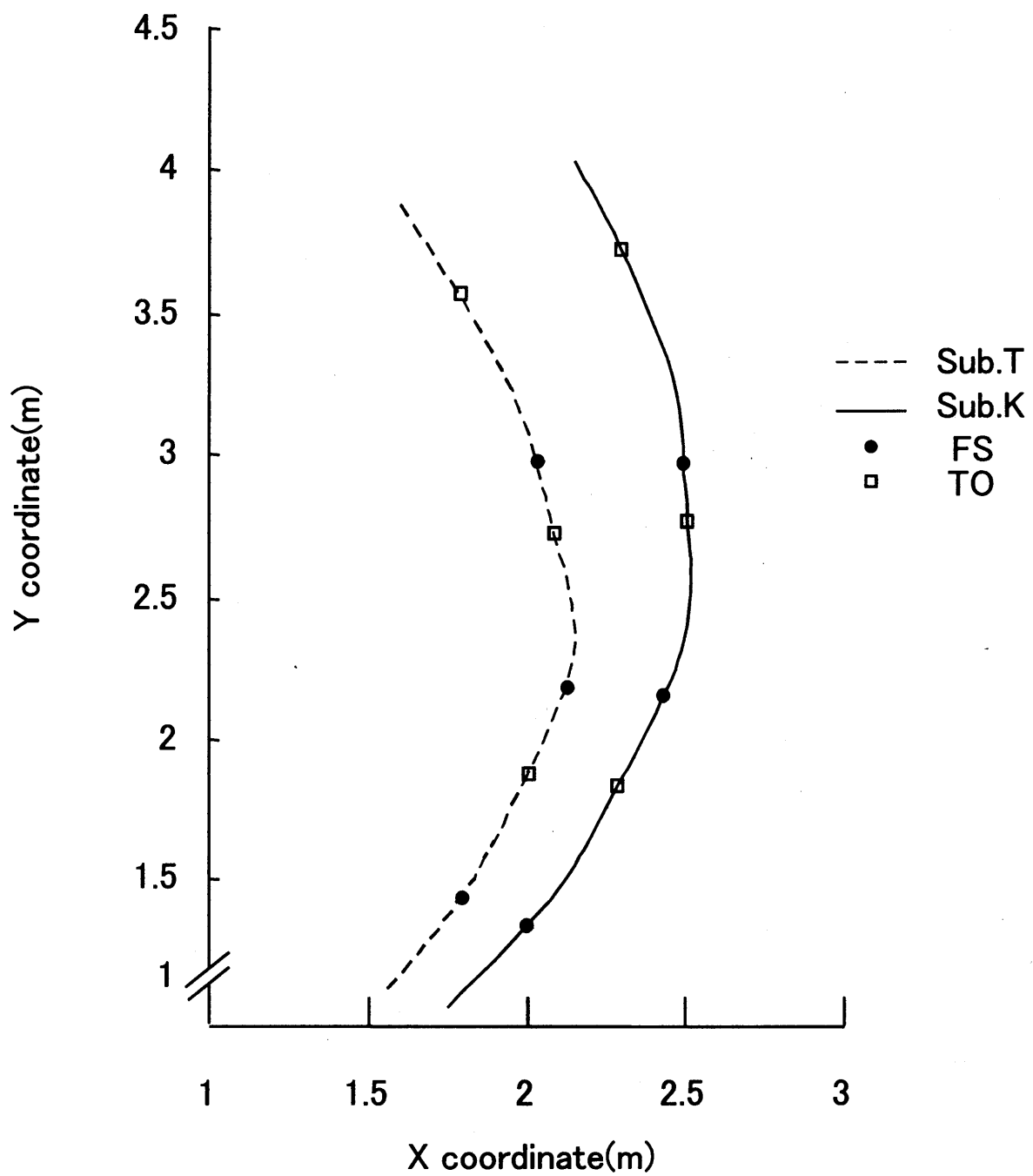


Figure 6-5 The X and Y coordinates of the center of gravity for subject T and subject K.

(2) クロスステップ

図 6-6 は、C60 における被験者 S および M のターン前後 3 歩の FS, MS および TO における CGV と SP1, SP2 および SP3 における MF_{nv} を示したものである。被験者 S は、CS における I_{crd} が 0.28 と I_{crd} が小さい典型例で、被験者 M は、CS における I_{crd} が 0.34 と I_{crd} が大きい典型例である。また、被験者 S および M は、共にサッカー部員である。CGV は、FS1 から TO3 のいずれにおいても被験者 M の方が小さく、さらに被験者 M では FS2 から MS3 において大きく減速していた。また、SP1, SP2 および SP3 のいずれにおいても MF_{nv} は被験者 M よりも被験者 S の方が大きかった。図 6-7 は、身体重心、左右の大転子および支持足の拇指球の XY 座標を示したものである。被験者 S は、身体重心の軌跡から一定の距離に支持足を接地させているが、被験者 M は、支持足の接地位置が SP2 では身体重心から近く、SP3 では遠かった。FS2 における左右の大転子を結ぶ線と CGV の間の角度は、被験者 S で 54.5 度、被験者 M で 97.5 度と被験者 S の方が小さく、被験者 M では右大転子の方が前方に位置していた。また、FS2 における支持足と身体重心の左右方向の距離は、被験者 S で 0.47m、被験者 M で 0.21m と被験者 S の方が大きかった。つまり、被験者 S は、FS2 において左大転子が大きく前方に押し出されていたため、支持足と身体重心の左右方向の距離を大きくすることができたと考えられる。McClay and Cavanagh (1994) は、前頭面における身体重心から支持足までの距離と左右方向の地面反力の大きさとの間に有意な相関がみられたことを報告している。すなわち、被験者 S では、左大転子を前方へ大きく振り出すことで支持足を遠くに接地させ、SP2 における MF_{nv} が大きかったため、高い走速度を維持してターンすることができたと考えられる。

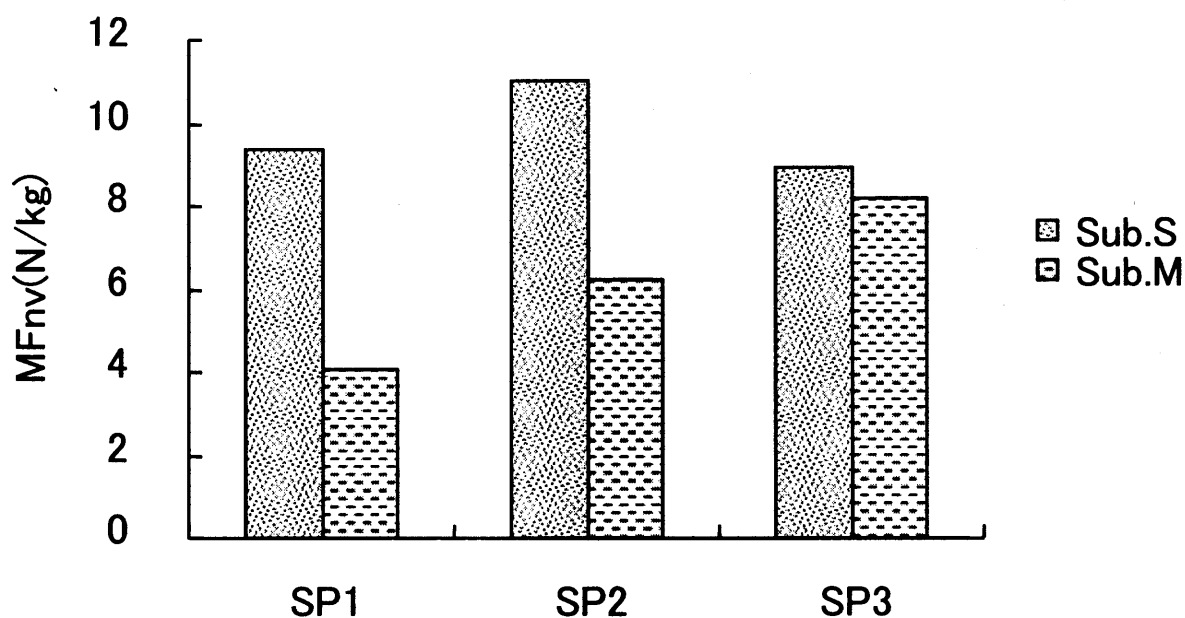
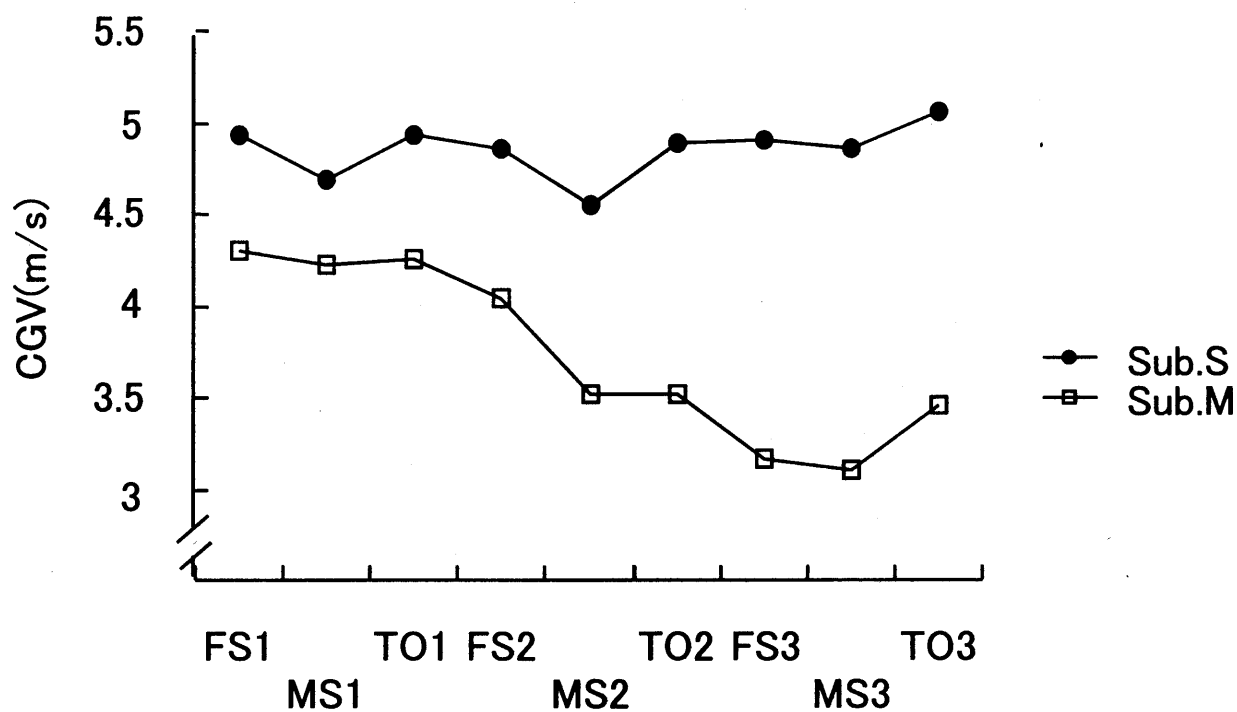


Figure 6-6 The horizontal velocity of the center of gravity (CGV) at foot strike(FS), mid-support(MS) and toe off(TO) and the mean force normal to velocity of the center of gravity(MF_{nv}) in 3 support phases for subject S and subject M.

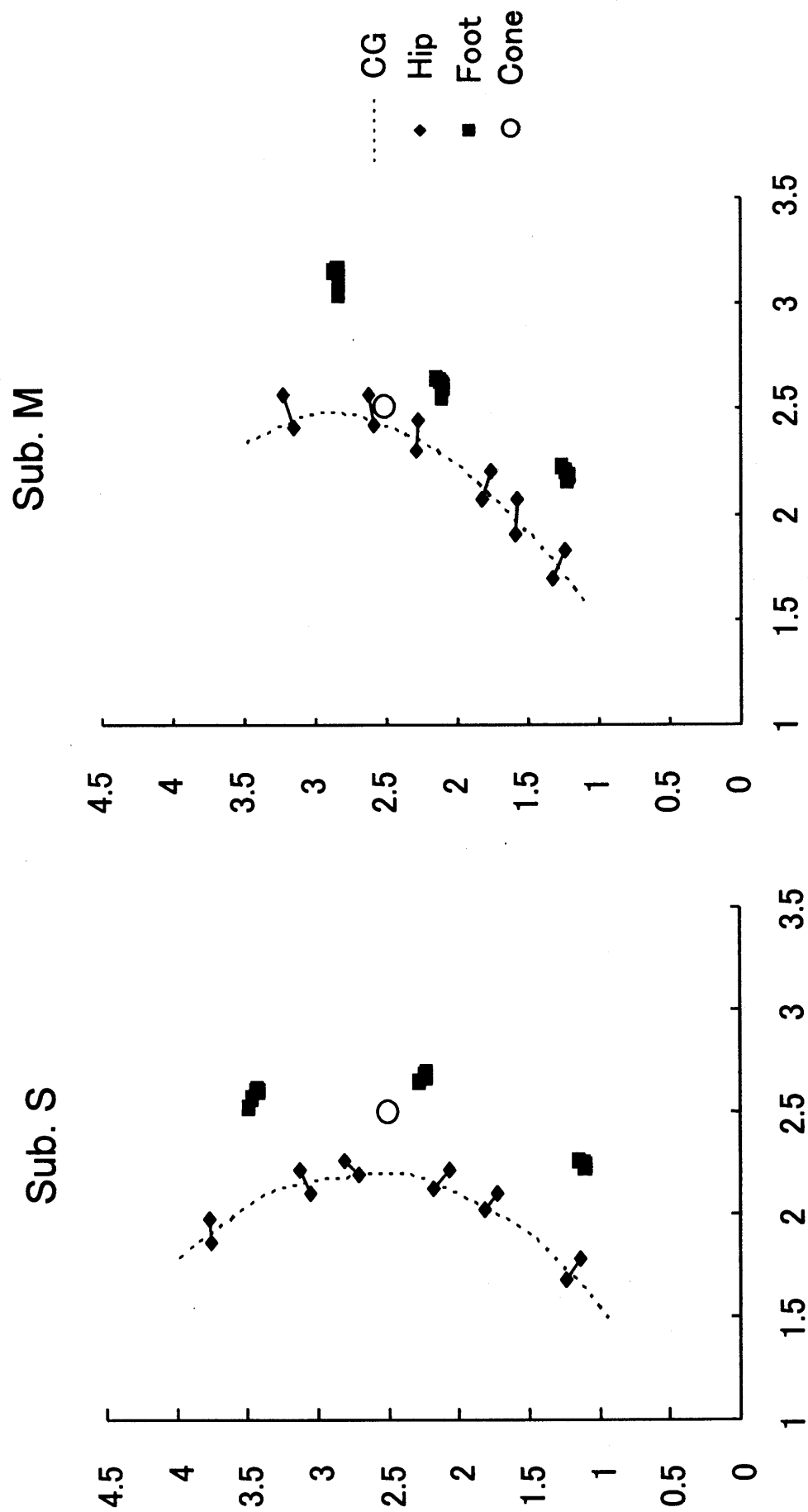


Figure 6-7 The X and Y coordinates of the center of gravity, the hip and the foot of support leg for subject S and subject M.

また、被験者 S は、FS2 において左大転子が大きく前方に振り出されていたにも関わらず、SP2 において接地後に腰を大きく回転させて右大転子を前方へ押し出すことで、SP3 においても足を左右方向へ大きく踏み出すことができ、MF_{nv} が大きかったと考えられる。

以上のことから、SS で素早くターンを行うためには、SP1 において大きく減速することで、SP2 で大きくターンし、その後素早く加速することが重要であると考えられる。一方、CS で高い走速度を維持してターンするためには、水平面において腰を大きく回転させ、支持足を左右方向へ大きく踏み出すことが重要であると考えられる。

VII. 結論

本研究の目的は、学生球技スポーツ選手に異なる角度の方向転換走を行なわせたときのターン動作の特徴をバイオメカニクス的手法を用いて明らかにし、ターン技術の指導に役立つ基礎的知見を得ることであった。

本研究で得られた結果をまとめると、以下のようになる。

- ① SS および CS のどちらにおいても、方向転換走指数とジグザグ走タイムとの間に有意な正の相関がみられた (S30 $r=0.525$, $p<0.001$; S60 $r=0.706$, $p<0.001$; S90 $r=0.701$, $p<0.001$; C30 $r=0.669$, $p<0.001$; C60 $r=0.736$, $p<0.001$; C90 $r=0.780$, $p<0.001$).
- ② SS および CS における方向転換走指数の間に有意な正の相関がみられた ($r=0.790$, $p<0.001$).
- ③ 60 度および 90 度における身体重心速度の大きさは、FS1 では SS の方が CS よりも大きく ($p<0.05$, $p<0.001$), FS2 では CS の方が SS よりも大きく ($p<0.05$, $p<0.01$), MS2 では CS の方が SS よりも大きかった (どちらも $p<0.001$).
- ④ 方向転換角度の割合は、30 度、60 度および 90 度のいずれにおいても、SP1 では SS よりも CS で大きく ($p<0.01$, $p<0.001$, $p<0.001$), SP2 では CS よりも SS で大きかった ($p<0.01$, $p<0.001$, $p<0.001$).
- ⑤ SS および CS のいずれにおいても、身体重心速度の垂直方向の平均力と方向転換角速度との間に有意な正の相関がみられた (S30 $r=0.975$, $p<0.001$; S60 $r=0.962$, $p<0.001$;

S90 $r=0.946$, $p<0.001$; C30 $r=0.958$, $p<0.001$; C60 $r=0.937$, $p<0.001$; C90 $r=0.892$, $p<0.001$).

これらのことから、方向転換走を速めるためには、直線走能力ばかりでなく、ターン技術を身につけることが重要であることが示唆された。また、ターン前後3歩のそれぞれの役割がステップによって異なると考えられ、素早くターンするためには、SSでは、SP1において大きく減速し、SP2において左右方向へ大きく踏み出してMF_{nv}を高め、その後素早く加速することが重要であると考えられる。一方、CSでは、SP2の接地前に左大転子を前方へ押し出し、左右方向へ大きく踏み出してMF_{nv}を高めると同時に、右大転子を前方へ押し出すことで、SP3においても足を左右方向へ大きく踏み出すことができると考えられる。

指導現場への示唆

本研究の結果から、方向転換走指数がターン技術を評価する指標になり得ることが示唆された。つまり、ジグザグ走タイムと直線走タイムを測定し、方向転換走指数を算出することで、ターン能力を評価することができ、指導現場や学校体育でも活用できることが示唆された。また、相手選手との距離が長い場合には、走速度を維持してターンすることが効果的であると考えられるため、そのトレーニングとしては、コーンの間隔が広いジグザグ走が有効であると考えられる。一方、相手選手との距離が短い場合には、一度減速することで大きくターンし、その後素早く加速することが重要であると考えられ、そのトレーニング方法としては、コーンの間隔が狭いジグザグ走が有効であると考えられる。

今後の課題

本研究では、ターン技術が方向転換走タイムに及ぼす影響とその動作的要因を検討した。しかし、ターン技術を高めるための準備動作や下肢の動作を詳細に明らかにするまでには至っていない。さらに方向転換走における合理的なターン動作を究明するには、下肢のキネティクスや体幹の動作なども検討する必要があると考えられる。

謝 辞

本研究は、指導教員の榎本靖士先生、藪根敏和先生のご指導と励ましのもとで行われたものである。ここに記し感謝の意を表します。

また、本研究を行うにあたって、多大なご協力を頂きましたバイオメカニクス研究室の皆様、快く被験者を引き受けてくださった京都教育大学男子サッカー部、男子バスケットボール部、男子ハンドボール部、ラグビー部の皆様に深く感謝いたします。

文献

阿江 通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. J. J. S. S., 15 (3), p.p.155-162

Andrews, J. R., McLeod, W. D., Ward, T. and Howard, K. (1977) The cutting mechanism. The American Journal of Sports Medicine, 5 (3), p.p.111-121

Bencke, J., Naesborg, H., Simonsen, E. B. and Klausen, K. (2000) Motor pattern of the knee joint muscles during side-step cutting in European team handball. Scand J. Med. Sci. Sports, 10, p.p.68-77

Besier, T. F., Lloyd, D. G., Cochrane, J. L. and Ackland, T. R. (2001) Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. Medicine and Science in Sports and Exercise, 33 (7), p.p.1176-1181

Cavagna, G. A., Thys, H. and Zamboni, A. (1976) The sources of external work in level walking and running. Journal of Physiology, 262, p.p.639-657

Chang, Y. H., and Kram, R. (2007) Limitations to maximum running speed on flat curves. The journal of Experimental Biology, 210, p.p.971-982

Cross, M. J., Gibbs, N. J., Bryant, G. J. (1989) An analysis of the side step cutting maneuver. The American Journal of Sports Medicine, 17 (3), p.p.363-366

Deutsch, M. U., Maw, G. J., Jenkins, D. and Reaburn, P. (1998) Heart rate, blood lactate and kinematic data of elite clubs (under-19) rugby union players during competition. Journal of Sports Sciences, 16, p.p.561-570

藤本 元 (1994) ハンドボール競技者の方向転換走能力の発達に関する研究. 平成 6 年度
筑波大学修士論文.

Greene, P. R. (1985) Running on flat turns. : experiment, theory, and applications. Journal of
Biomechanical Engineering, 107 (2), p.p.96-103

Grindstaff, T. L., Hammill, R. R., Tuzson, A. E. and Hertel, J. (2006) Neuromuscular
control training programs and noncontact anterior cruciate ligament injury rates in female athletes.
Journal of Athletic Training, 41 (4), p.p.450-456

Hamill, J. Murphy, M. and Sussman, D. (1987) The effects of track turns on lower extremity
function. International Journal of Sport Biomechanics, 3, p.p.276-286

Jindrich, D. L., Besier, T. F. and Lloyd, D. G. (2006) A hypothesis for the function of braking
forces during running turns. Journal of Biomechanics, 39 (2), p.p.1611-1620

Lee, K., Smith, G. A. and Woo, S. Y. (2000) The effect of turning direction on lower extremity
joint moments during fast cutting movement. Proceedings of XVIII International Symposium on
Biomechanics in Sports, p.p.54-57

Markovic, G. (2007) Poor relationship between strength and power qualities and agility performance.
J. Sports Med. Phys. Fitness, 47 (3), p.p.276-283

McClay, I. S. and Cavanagh, P. R. (1994) Relationship between foot placement and mediolateral
ground reaction forces during running. Clinical Biomechanics, 9, p.p.117-123

McLean, D. A. (1992) Analysis of the physical demands of international rugby union. Journal of
Sports Sciences, 10, p.p.285-296

McLean, S. G. , Myers, P. T. , Neal, R. J. and Walters, M. R. (1998) A quantitative analysis of knee joint kinematics during the sidestep cutting maneuver : Implication for non-contact anterior cruciate ligament injury. Bulletin Hospital for Joint Diseases, 57 (1), p.p.30-38

McLean, S. G. , Lipfert, S. W. and VanDenBogert, A. J. (2004) Effect of gender and defensive opponent on the biomechanics of the sidestep cutting, Medicine and Science in Sports and exercise, 36 (6), p.p.1008-1016

McLean, S. G. , Huang, X. and VanDenBogert, A. J. (2005) Association between lower extremity posture at contact and knee valgus moment during sidestepping. : implications for ACL injury. Clinical Biomechanics, 20, p.p.863-870

中山 忠彦 (1998) サッカー選手の方角転換を伴う疾走能力. 平成9年度大阪体育大学修士論文抄録集, p.p.5-6

Neptune, R. R. , Wright, I. C. and VanDenBogert A. J. (1999) Muscle coordination and function during cutting movements. Medicine and Science in Sports and Exercise, 31 (2), p.p.294-302

大橋 二郎 (1987) サッカー選手の試合中における移動スピードの測定. 東京大学教養学部体育学紀要, 21, p.p.54-61

Ohtsuki, T. , Yanase, M. and Aoki, K. (1987) Quick change of the forward running direction in response to unexpected changes of situation with reference to ball games. Biomechanics X-B, p.p.629-635

Ohtsuki, T. , Yanase, M. and Aoki, K. (1988) Quick change of the forward running direction and footwork in target catching ball games. Biomechanics XI-B, p.p.820-825

Pollard, CD. , Davis, I. M. , and Hamill, J. (2004) Influence of gender on hip and knee mechanics

during a randomly cued cutting maneuver. *Clinical Biomechanics*, 19, p.p.1022-1031

Rand, M. K. and Ohtsuki, T. (2000) EMG analysis of lower limb muscles in humans during quick

change in running directions. *Gait and Posture*, 12, p.p.169-183

Schot, P. , Dart, J. and Schuh, M. (1995) Biomechanical analysis of two change of direction

maneuvers while running. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 22 (6),

p.p.254-258

Sheppard, J. M. and Young, W. B. (2006) Agility literature review: Classifications, training

and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24 (9), p.p.919-932

高松 薫 (1991) 体力・運動能力テストによるスポーツタレントの発掘方法に関する研究

—その 2 球技スポーツにおける完成段階の体力・運動能力テスト項目について—, 日本

体育協会スポーツ医科学研究報告集—第 2 報—, p.p.61-71

田中 守, 佐伯 敏亨, 西田 寛文, 田中 宏暁, 進藤 宗洋 (1999) 福岡大学スポーツ

科学研究, 30 (1), p.p.1-18.

瀧井 敏郎, 戸荏 晴彦, 大橋 二郎, 掛水 隆, 米田 浩, 小野太佳司 (1983) サッカ

ー選手の方向の変化を伴った疾走能力について. 昭和 57 年度日本体育協会スポーツ医・

科学研究報告集 No.Ⅱ競技力向上に関する研究, 第 6 報, p.p.368-375

瀧井 敏郎, 福井 哲 (1984) サッカー選手の疾走能力. 第 4 回サッカー医・科学研究会

報告書, p.p.110-115

梅垣 浩二 (1992) 走の方向変化における力積と変更角度, 日本バイオメカニクス学会第

11 回大会論集, p.p.235-239

米田 浩 (1988) 球技選手の方向の変化を伴った疾走能力について. 札幌女子短期大学部
紀要, 11, p.p.1-6

Young, W. B., James, R. and Montgomery, I. (2002) Is muscle power related to running speed
with changes of direction? The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 42, p.p.282-288

図子 浩二, 高松 薫, 古藤 高良 (1993) 各種スポーツ選手における下肢筋力およびパ
ワー発揮に関する特性. 体育学研究, 38, p.p.265-278

図子 浩二 (2006) バスケットボール選手におけるプライオメトリックスがジャンプとフ
ットワーク能力およびパス能力に及ぼす効果. 体力科学, 55, p.p.237-246