

2020年度 修士論文

高校生の歩行と走運動の関係から
体育授業での短距離走指導に活かせる指導の視点

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 コーチング科学研究領域

5019A042-7

田村 優

研究指導教員：磯 繁雄 教授

目次

I. 緒言

- 1-1. 背景 1
- 1-2. 目的 8

II. 方法

- 2-1. 被験者 9
- 2-2. 測定方法 9
- 2-3. 試技について 10
- 2-4. 分析方法 10
- 2-5. 分析項目
 - 2-5-1. キネマティクス変数 11
 - 2-5-2. 各試技の時間規格化と群間比較 16
- 2-6. 統計処理 16

III. 結果

- 3-1. 疾走および全力速歩における速度とピッチストライドの関係
 - 3-1-1. 速度とピッチ, ストライドの関係 17
 - 3-1-2. ピッチ, ストライドと
接地時間, 滞空時間および両足接地時間の関係 22
- 3-2. 群間での疾走および全力速歩における支持期中の動作について
 - 3-2-1. 支持期中の角度変化について 26
 - 3-2-2. 支持期中の角速度変化について 29
 - 3-2-3. 支持期中の角度および角速度の最大値と最小値について . 32

3-3. 疾走と全力速歩の関係	
3-3-1. 歩行速度と走速度の関係	34
3-3-2. 疾走と全力速歩におけるピッチ, ストライドの関係 . . .	35
IV. 考察	
4-1. 高校生の全力速歩と疾走の関係	
4-1-1. 全力速歩と疾走の速度, ピッチおよびストライドの関係	37
4-1-2. 全力速歩と疾走の動作の関係	37
4-2. 短距離走授業において全力速歩に着目した新しい指導視点	
4-2-1. 全力速歩と疾走のピッチの関係から得られる指導の視点	39
4-2-2. 全力速歩と疾走の動作から得られる指導の視点	43
V. 結論	46
VI. 参考文献	48
VII. 謝辞	52

I. 緒言

1-1. 背景

歩行および走運動は人間にとって最も基本的な移動様式である。歩行は主に日常生活における移動運動として重要な役割を果たし、走運動は日常生活での移動運動としての役割に加え、様々なスポーツ場面でも基本的な運動能力として重要視されている。

歩行と走運動の違いは、連続する2歩において両足で体を支持する局面（両脚支持期）の有無で判別される。すなわち歩行では両脚支持期がみられるが、走運動では両脚支持期が消失し、脚が完全に地面から離れる滞空期が生じる。陸上競技において、唯一歩行でその記録や順位を競う競歩種目においても、常にどちらかの足が地面に接していなければいけないと規定されている（World Athletics, 2020）。

歩行の発現には個人差があるが、一般的には生後約12か月で発現するとされている（Gesell, 1940）。幼児期で獲得された歩行は子どもの発育発達に伴って、動作が発達し走運動の獲得につながっていくことが明らかになっている（宮丸・加藤, 2002；加藤ら, 2009）。加藤ら

（2009）は走運動がみられていない月齢10か月から18か月の幼児を対象に、歩行から走運動の発達過程を調査した。その中で歩行から走運動へ発達する過程では、左右のどちらか一方の脚を用いて地面をキックし、滞空期を生じさせる動作（リーピング）がみられ、それによりストライドが増大し、走運動の獲得につながったと報告している。この報告から、走運動は歩行を発達させていくことで学習される運動であることがわかり、歩行と走運動の何らかの関係性が存在することが推察できる。また、成人における歩行と走運動の関係性にも目を向けてみると、谷川ら（2008）は、短距離選手は速歩で移動する際にも、走運動におけ

る最大速度局面と同様に支持期の膝関節の屈曲を抑えていることを報告し、非競技者は疾走および速歩において、支持期中の膝関節の屈曲が大きかったことを報告している。このような歩行と走運動の関連から、歩行と走運動は独立した動作ではなく、互いに影響しあっていることが考えられる。

一方、走運動の発現は個人差があるものの一般的には生後約 24 か月で発現するといわれており (Gesell, 1940), その過程には歩行を基盤とした動作の発達がみられる (宮丸・加藤, 2002; 加藤ら, 2009)。走運動能力は移動速度である走速度 (タイム) を指標に評価を行うことが最も一般的であり、幼児期に獲得された走運動能力 (走速度) は経年的なストライドの増加に伴い向上することが報告されている (斉藤・伊藤, 1995; Schepens et al., 1998)。その過程で男子は第二次性徴期の後半にあたる高校期に走運動能力 (走速度) がピークを迎えるとされている (加藤ら, 1985; 加藤ら, 1987; 加藤・宮丸, 2006)。子どもの走運動能力を測定および評価するために学校教育の現場では 50m 走のタイムの測定が行われている。スポーツ庁 (2019) は小学校 5 年生の児童と中学校 2 年生の生徒に対して全国体力・運動能力, 運動習慣等調査を実施しており, その中でも走運動能力を評価する項目として 50m 走が取り入れられている。50m 走について伊藤 (2007) は小学校 5 年生の児童に, 40m, 60m, 80m および 100m の疾走を実施させた際, 60m 走が他の距離の疾走と比較して発揮される最大速度が高いことや児童の精神的な負担が少なかったことを報告し, 60m 走において速度の低下がみられる速度持久局面 (50-60m) を取り除いた 50m 走が身体に過度な負担をかけることがなく, 心理的にも疾走に望ましい距離だと報告している。

子どもの走運動の指導について, 学校現場における指導機会を考え

てみると、ほとんどの子どもは小学校、中学校そして高等学校と、保健体育の陸上競技の単元において走運動の指導を受けていると推察される。文部科学省における学習指導要領に目を向けると、小学校低学年では走・跳の運動遊び、中学年では走・跳の運動、高学年では陸上運動として取り扱われ、走ることの楽しさを味わいながら、競争の楽しさを学び、学年が上がるにつれて合理的な動きを身につけることが目標として定められている（文部科学省，2018a）。同様に、中学校では単元の名称が陸上競技に変更され、小学校で学習した動きを発展させ、基本的な動きや効率の良い動きを身につけ、それらをもとに各種目特有の動きを身につけることを目標としている（文部科学省，2018b）。ここでは小学校の内容から発展し、陸上競技の種目をより専門的に学習、実践するようになる（文部科学省，2018b）。そして、高等学校では中学校までの学習内容を踏まえ、記録向上や競争の楽しさを味わい、動作の観察によって自己や仲間の課題を解決し、各種目特有の技能を向上させることを目標としている（文部科学省，2019）。特に短距離走の授業では、走運動に着目した授業展開の中で、走速度を高めることによる記録の向上や競争の楽しさを味わうことが技能の目標に設定されている（文部科学省，2019）。さらに、高校2年次以降は中間走で高い走速度を獲得するために、体の真下に足を接地させる、キックした足を素早く前方に運ぶなどの動作のポイントが示され、それらを生徒同士で観察する、ICT

（Information and Communication Technology）を用いて自己観察することが学習方法として挙げられている（文部科学省，2019）。

この様な走動作に着目した指導は、教育現場においてはもちろん、アスリートに対するコーチングの現場でも広く行われている。走運動、特に短距離走の能力は走速度に依存し（阿江ら，1994；松尾ら，

2008), 優れた競技者は股関節伸展角速度が高い, 離地時の膝関節伸展角速度が低い, 支持期の足関節角度が底屈位にあり支持期中の足関節の角度変化量が小さいといった走動作の特徴が存在することが報告されている(伊藤ら, 1998). 学校体育の現場で短距離走の指導を行う際にも, 単元の目標である記録の向上(文部科学省, 2018a, 2018b, 2019)を達成するために高い走速度の獲得は必要不可欠であり, それを獲得するためには走動作の改善を通じた走運動能力(走速度)の向上を目的とした指導が必要であると考えられる.

加藤・宮丸(2006)は一般高校生の走動作の特徴をまとめ, 男子生徒においてストライドの年齢による変化は見られなかったものの, ピッチが15歳と比較して16歳あるいは17歳では有意に向上し, 走速度は15歳と比較して17歳が有意に高かったと報告している. 走速度はピッチとストライドの積で決定されることを踏まえると, 一般高校生の走速度はピッチによってコントロールされていると考えられる. 一方, 競技者はピッチではなくストライドによって走速度がコントロールされており, 疾走中のストライドが大きい選手ではレース中の最大走速度も高い傾向にあると報告されている(伊藤ら, 1998). ストライドの獲得には脚の振り下ろしによる鉛直方向の高い地面反力が関係していることが明らかになっている(Hunter et al, 2005; 豊嶋ら, 2015). また, 一般高校生よりも走速度の高い高校生競技者は走運動で重要な役割を果たす股関節筋群の筋力と筋横断面積が一般高校生と比較して有意に大きいことが報告されており(星川ら, 2011), 強化された股関節筋群による力発揮を用いて走速度を高めていることが推察される. この様にストライドの増加につながるような脚の振り下ろし動作による鉛直方向の高い地面反力の獲得(Hunter et al., 2005; 豊嶋ら, 2015), そしてそれらを発揮

するための股関節筋群の強化（星川ら，2011）が高い走速度を獲得するために重要であることが考えられる．しかし，体育授業では様々なバックグラウンドを持つ生徒が集まり，その中で定められた時間内で短距離走の学習を行うことから，縦断的な練習や専門性を高めたトレーニングなどは行えない．ここで，一般高校生の走速度はピッチによってコントロールされているという特徴（加藤・宮丸 2006）を踏まえると，学校教育の体育授業における陸上競技の教材ではピッチを高めるような動作の指導ポイントや，生徒同士で観察する ICT を高いレベルで実現させるための着眼点を理解することが重要である．また，走運動は様々なスポーツにおいても基本的な運動とされるため，一般生徒に広くその技術を指導することや，能力を高める指導が重要であるといえる．

しかし，学校教育における保健体育の授業で行われる短距離走の授業では，走運動を中心に授業が展開され，歩行や速歩のような歩行に関わる移動様式から走運動能力の改善を図るものは少ない．動きづくりの中にスキップやジャンプの動作を組み込む授業案や授業研究の例はみられるものの（渡邊・加藤，2006；宮崎・尾縣，2009），走運動の発達を遡った歩行への介入を行っている授業案などはほとんど見当たらない．走運動は，幼児期で獲得された歩行がリーピングを経て発達していく中で獲得される移動様式で（加藤ら，2009），歩行が基盤となって走運動を獲得していることが明らかになっている（宮丸・加藤，2002；加藤ら，2009）．また谷川ら（2008）は成人の競技者と非競技者のランニングや歩行，速歩の動作を比較し，競技者の速歩において疾走と共通した，膝関節の屈曲を抑えるという特徴があることを報告し，競技者は歩行の中でも非競技者とは異なる動作を行っていたことを明らかにしている．このような，歩行から走運動への動作の発達（宮丸・加藤，2002；

加藤ら，2009）や速歩と走運動の共通した動作（谷川ら，2008）を踏まえると，走運動は歩行や速歩といった走運動以外の移動様式の観点から指導を行うことも重要であると推察される。

また，生徒同士で互いの動作の観察を行うことや ICT などを用いて自己の動作を確認することは陸上競技のような個人競技の授業で重要となり（文部科学省，2019），自他の動作を確認することが動作への理解を深めるとともに，課題発見のために重要であること（文部科学省，2019）が示されている。しかし，高い走速度を有する競技者は疾走中の股関節の伸展角速度が高い，離地の際の膝関節の伸展角速度が低い，支持期中の足関節角度が底屈位を保っていることで角度変化量が少ない（伊藤ら，1998）などの，共通した特徴が存在する。現状，文部科学省が短距離走の保健体育の授業に要求している ICT は，高い移動速度で行われる走運動の生徒同士の観察が求められているが，高い走速度で実施されている複雑な走動作について，専門的な知識を有していない生徒が適切に観察，評価することは困難であると考えられる。一方，歩行や速歩は疾走よりも移動速度が低いため，動作の観察は，疾走と比較して視覚的な情報処理能力の点で容易になると考えられるため，確実かつ適切な観察および評価が行えると推察される。そもそも，スポーツは一般的に「する・見る・支える」という観点から成り立っており，歩行や速歩を通して体育授業の中で動作を確実に観察し評価するという能力が養われれば，スポーツを「見る」，「支える」ことにもつながり，スポーツに対して多角的な学びが行われ学校卒業後の生涯にわたる豊かなスポーツライフ（文部科学省，2018a，2018b，2019）を支えることにもつながる。

そして，子どもへのスポーツ指導のほとんどは高等学校における体

育授業が最後になってしまう。高校卒業後、仮に大学に進学したとしても体育授業は選択科目に設定されていることが多く、スポーツ指導を受ける機会が高等学校までと比較して少なくなる。走運動が様々なスポーツにおいて基本的な運動とされていることや、日常生活においても重要な移動様式の1つであることから、一律に走運動の指導が行える高校生に対して走運動に関する適切な知識を享受させるための指導を行うことは教育現場にとっても最も重要な課題であるともいえる。また走運動に限らず、多様な動作の学習から走運動に介入することで、走運動をはじめとした基本的な運動能力の改善にもつながると考えられる。田中

(2009) は子どもの基本的運動動作を含んだ遊びの経験が減っていることが児童の疾走能力の低下につながっていると報告し、Sugihara et al.

(2006) は未就学児の身体運動を伴う遊びが減少しているため、就学前の子供の疾走能力が低下していると報告している。この様な報告からも、走運動のみでなく、様々な運動を取り入れた短距離走の授業を展開することが、疾走能力を含めた子どもの多角的な運動能力の向上につながると考えられる。

この様に短距離走の授業の中で歩行や速歩といった、走運動の発現の過程にあり(宮丸・加藤, 2002; 加藤ら, 2009), 走運動とは別の動作を取り入れることで、走運動能力を含めた運動能力の向上につながる可能性がある。また、歩行と走運動のつながりから系統的に走運動能力の向上を図ることができると考えられ、加えて走運動よりも低い移動速度で行われる歩行や速歩の動作を観察することで、動作の観察を学習することにもつながると考えられる。その中で谷川ら(2008)が報告した競技者のみ速歩において膝関節の屈曲を抑えるような、走速度の高い生徒に共通する動作がみられれば、指導の現場においても有益な知見とな

るだろう。

しかし、実際の短距離走の授業では走運動に直接介入する指導がほとんどで、動作の発達（宮丸・加藤，2002，加藤ら，2009）や動作の共通性（谷川ら，2008）から走運動との関係がみられる歩行は授業の中では無視されてしまっていることが現状といえる。そこで、動作の発達の観点（宮丸・加藤，2002，加藤ら，2009）や走動作と歩行の共通性（谷川ら，2008）から、走運動とつながりのあると考えられる歩行や速歩の観点から、走運動の学習を行うことで、走運動のみに着目されていた従来の指導方法とは異なる、新しい視点での短距離走の授業を行える可能性がある。また、陸上競技のような個人競技の授業で重要となる自他の動作の観察（文部科学省，2019）を行う場面でも、全力疾走のような高い速度で行われる動作よりも、歩行や速歩といった低い速度の動作を対象にすることで、より正確に観察ができると考えられる。しかし、このように歩行や速歩を介して一般高校生の走運動を検討した研究や授業の実施例は見当たらない。そこで一般高校生の歩行と走運動の関係性を明らかにすることで、高校生の短距離授業に活用できるような新しい知見を獲得することにつながると考えられる。

1-2. 目的

本研究の目的は、一般高校生の全力での速歩と全力疾走の動作を比較することで、それらの関係性を明らかにし、学校体育における歩行を通じた新しい短距離走指導の視点を獲得することとする。

II. 方法

2-1. 被験者

被験者は埼玉県内の高校2年生の男子生徒24名であった。ここから、50m中の走速度（35-45m区間における走速度）の高い上位12名を上位群，下位12名を下位群とした。被験者全体および上位群，下位群における身体特性を表1に示す。上位群と下位群における身体特性を比較した結果，年齢差，体格差は認められなかった。ここから，上位群，下位群ともに同等の被験者の集団であったことが示された。

表 1 被験者の身体特性

	全体	上位群	下位群	t検定 (上位群-下位群)
年齢 (歳)	16.6±0.5	16.6±0.5	16.6±0.5	n.s.
身長 (cm)	172.9±5.4	172.4±5.4	173.3±5.4	n.s.
体重 (kg)	57.8±5.9	58.9±6.4	56.6±5.2	n.s.

2-2. 測定方法

実験はすべて，高等学校のグラウンド（土トラック）で行った。被験者には十分なウォーミングアップをさせた後で，20mの全力での速歩（以下，全力速歩）と50mの全力疾走を行わせた。試技はすべてスタンディングスタートから行い，スパイク類の着用は禁止とした。試技のスタートは，験者の声掛けによる合図でスタートとした。全力速歩の試技が終了した後に疾走の試技を行った。試技の間には十分な休憩時間（5分以上）を確保し，疲労による影響が出ないように考慮した。

実験には1台のデジタルハイスピードカメラ（Panasonic, FZ300）を用いて，各試技の最大速度局面（全力速歩は10-20m区間，疾走は35-45m区間）を被験者の左側方から撮影（フレームレート：120Hz，シャ

ッタースピード：1/1000sec) した。カメラの設置は走路側方 20m の地点とし、撮影の際には被検者の全身が画角に収まるように注意した。また撮影区間の 10m 区間タイムを算出するために、カメラと走路内の 10m の地点との延長線上にマーカーを設置した。

全力速歩および疾走の試技中の関節角度や角速度の変位を分析するために、2次元4点実長換算が行えるよう、撮影区間の中心から前後 4m の区間をキャリブレーション撮影した。

2-3. 試技について

実施した試技と、試技に対する言葉による教示は表 2 に示した通りである。それぞれの移動速度や動作に対して強制はせず、すべて被験者の主観による動作を実施させた。

表 2 実施した試技と試技に対する声掛けによる教示

試技	試技についての声掛けによる教示
全力速歩	・これ以上速く歩けない速度で歩いて ・走りださない限界の速度で歩いて
疾走	・全力で50mを走る

2-4. 分析方法

本研究では各試技の最大速度局面（全力速歩は 10-20m 区間，疾走は 35-45m 区間）のみ検討することとした。撮影した映像をコンピューターに取り込み、動画再生ソフト（Quick Time Player, Apple）でコマ送り再生することで、各試技の時間情報を算出した。

歩行、およびランニング中の関節角度と角速度の変位の分析はキャリブレーション区間の 8m 中の中心に近い位置での任意の 1 サイクル（片方の足が接地してから、反対足の接地を経て再び同じ足が接地するまで）

を対象に分析を行った。分析は動作解析ソフト（Frame Dias V, DKH）にて行った。ビデオ画像に写しこんだ較正マーカールをもとに各点の座標を実長に換算した後、6Hzのバターワース型ローパスフィルターで平滑化処理を行った。各試技のビデオ画像上で手前側に位置する左脚（以下、基準脚）の1サイクルにおける角度に関するデータを取得するためデジタル処理した。デジタル処理は下肢三関節（股関節、膝関節、足関節）における角度および角速度の変化と体幹傾斜角度の変化を取得するために基準脚のつま先、足関節、膝関節、大転子を手動でデジタル処理した。また股関節の角度および角速度の変化と体幹傾斜角度の角度変化を取得するために基準脚とは反対の脚（以下、反対脚）の大転子と左右の肩峰をデジタル処理し、左右の大転子および肩の midpoint を仮想点として算出し、角度および角速度の算出に用いた。

2-5. 分析項目

2-5-1. キネマティクス変数

各試技のキネマティクス変数はそれぞれ以下の通り算出した。各項目は10m区間の平均値を算出した。また、関節角度変位、角速度変位は1サイクルの動作における接地時間中（以下、支持期）の変位を算出した。

(1) 10m 区間速度 (m/s) は、区間距離 10m を 10m 区間タイム (sec) で除して算出した。10m 区間タイム (sec) は、被験者が撮影区間に入れた瞬間の映像コマ数 (T1) から、10m の撮影区間を出る瞬間の映像コマ数 (T2) までとした。また、T1 と T2 は被験者のトルソーが 10m 区間のマーカを通過した瞬間のコマ数とした。算出式は以下のとおりである。

$$10\text{m 区間速度 (m/s)} = 10\text{m} / \{(T2-T1) / 120\}$$

(2) 接地時間 (sec) は接地時に足部が地面に接した時間 (TD) から、その足のつま先が地面から離れる時間 (TO) とした。算出式は以下の通りである。

$$\text{接地時間 (sec)} = \text{TO} - \text{TD}$$

(3) 滞空時間 (sec) は疾走の試技において、両方の足が地面に接していない時間である。接地脚のつま先が地面から離れた時間 (TO) から、その次の接地足が地面に接するまでの時間 (TD2) とした。算出式は以下の通りである。

$$\text{滞空時間 (sec)} = \text{TD2} - \text{TO}$$

(4) 両足接地時間 (sec) は全力速歩の試技において、両方の足が地面に接している時間である。接地している次の足が地面に接地した時間 (TD2) から、はじめに接地していた足が地面から離れるまで (TO) の時間とした。算出式は以下の通りである。

$$\text{両足接地時間 (sec)} = \text{TD2} - \text{TO}$$

(5) 脚スウィング時間 (sec) は離地した足が再び接地するまでの時間である。足が地面から離地した時間 (TO) から, 再びその足が接地するまでの時間 (TD3) とした。算出式は以下の通りである。

$$\text{脚スウィング時間 (sec)} = \text{TD3} - \text{TO}$$

(6) ピッチ (Hz) は 1 秒間あたりの歩数である。10m 区間内で初めに接地した足が再び接地する回数 (サイクル数) をその所要時間で除して区間平均ピッチを算出した。算出式は以下の通りである。

$$\text{区間平均ピッチ (Hz)} = \text{区間サイクル数} / \text{所要時間}$$

(7) ストライド (m) は速度とピッチ, ストライドの関係から, 区間速度を区間平均ピッチで除すことで区間平均ストライド (m) を算出した。算出式は以下の通りである。

$$\text{区間平均ストライド (m)} = \text{区間速度} / \text{区間平均ピッチ}$$

(8) 支持期における体幹傾斜角度の変化 (deg), 下肢三関節 (股関節, 膝関節および足関節) における角度変化 (deg) と角速度変化 (deg/sec) および角度と角速度の最大値, 最小値をデジタル処理したビデオ映像から算出した。図 1 に全力速歩および疾走における体幹傾斜角度と下肢三関節の角度定義を示す。角度定義の詳細は以下の通りである。

(a) 体幹傾斜角度

体幹傾斜角度は鉛直線と, 大転子中点と肩中点を結んだ線分がなす角度と定義した。支持期における体幹の傾斜角度を算出した。な

お、大転子中点と肩中点を結んだ線分が、鉛直線と一致した時の角度を 0 度（立位の状態）と定義した。

(b) 股関節

股関節は左右の大転子の中点（以下、大転子中点）から左右の肩の中点（以下、肩中点）を結んだ線分と、接地脚の大転子と膝を結んだ線分のなす角度と定義した。支持期における接地脚の角度、および角速度の変化を算出した。

(c) 膝関節

膝関節は接地脚の大転子と膝を結んだ線分と、膝と踵を結んだ線分のなす角度と定義した。1 サイクル時間と接地時間中における接地脚の角度、および角速度の変化を算出した。なお、膝関節の完全伸展を 180 度と定義した。

(d) 足関節

足関節角度は接地脚の膝と踵を結んだ線分と、踵とつま先を結んだ線分のなす角度と定義した。支持期における接地脚の角度、および角速度の変化を算出した。なお、膝と踵を結んだ線分が鉛直線である時を 90 度と定義した。

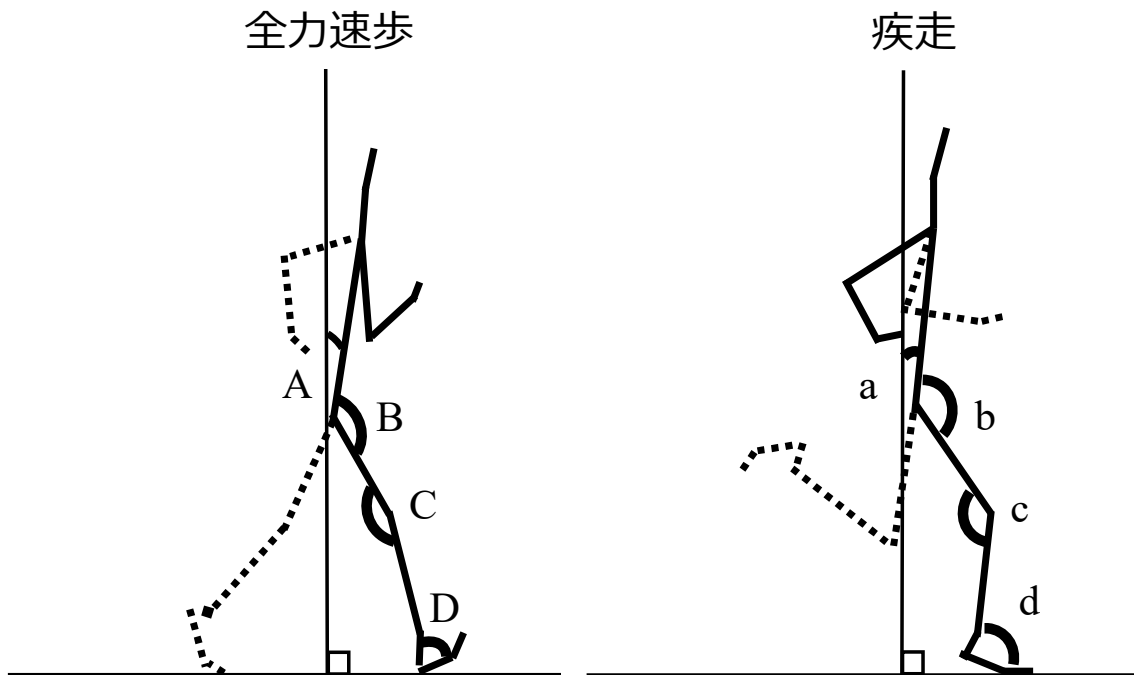


図 1 全力速歩および疾走における関節角度定義 (A(a) : 体幹傾斜角度, B(b) : 股関節, C(c) : 膝関節, D(d) : 足関節)

図の左側 (大文字アルファベット) が全力速歩, 右側 (小文字アルファベット) が疾走の角度定義を示す. 図中の実線は角度および角速度の算出に用いた基準脚, 破線が反対の腕, 脚を示す. なお, 股関節と体幹傾斜角度は左右の大転子および肩峰の midpoint を仮想点として算出しデータを取得した.

2-5-2. 各試技の時間規格化と群間比較

各試技の支持期における下肢三関節および体幹傾斜角度の変化を100%時間で規格化した。支持期中の角度系データを上位群と下位群で比較するために各群で支持期中の角度，角速度の10%時間ごとの平均値を算出した。また，支持期中の角度および角速度の最大値，最小値を取得し，それぞれの平均値の群間比較を行った。

2-6. 統計処理

測定値はすべて平均値±標準偏差の形で，有効数字は小数点第2位までで表した（被験者の身長，体重，年齢および角度系データについては有効数字を小数点第1位までとした）。

被験者全体での疾走と全力速歩の比較は対応のあるt検定を行った。群間でのキネマティクス変数の比較には対応のないt検定を行った。また，各算出項目の相関関係を明らかにするために Pearson の積率相関係数を用いた。

支持期中の10%時間ごとの角度変位，角速度変位に差がみられるかを検証するために，統計処理ソフト（IBM，SPSS26 for Windows）を用いて，独立変数を群と規格化時間，従属変数を角度，角速度とする混合計画の2要因の分散分析を行った。主効果が認められた場合の平均値の比較には Bonferroni 法を用いた。また，交互作用が有意であった場合の事後検定は Bonferroni 法による多重比較を行った。

いずれの検定においても有意水準は5%未満（ $p < 0.05$ ）とした。

III. 結果

3-1. 疾走および全力速歩における速度とピッチ，ストライドの関係

3-1-1. 速度とピッチ，ストライドの関係

疾走および全力速歩の速度，ピッチ，ストライド，接地時間，滞空時間（疾走のみ），両足接地時間（全力速歩のみ）および脚スウィング時間の結果を表3に示す．

疾走と全力速歩を比較すると，速度（疾走： 7.83 ± 0.48 m/s，全力速歩： 3.00 ± 0.42 m/s），ピッチ（疾走： 4.02 ± 0.36 Hz，全力速歩： 2.75 ± 0.42 Hz），ストライド（疾走： 1.95 ± 0.13 m，全力速歩： 1.09 ± 0.08 m）は疾走試技の方が有意に高く，接地時間（疾走： 0.13 ± 0.01 sec，全力速歩： 0.37 ± 0.06 sec）は有意に短い結果となった．このことから，疾走と全力速歩を比較すると，疾走ではピッチやストライドの向上に伴い高い速度を獲得していたことが明らかになった．また，脚スウィング時間は全力速歩試技の方が有意に短い結果となった（疾走： 0.37 ± 0.04 sec，全力速歩： 0.33 ± 0.03 sec）．

表3 疾走と全力速歩における測定項目の結果

	疾走	全力速歩	t検定
速度 (m/s)	7.83 ± 0.48	3.00 ± 0.42	**
ピッチ (Hz)	4.02 ± 0.36	2.75 ± 0.42	**
ストライド (m)	1.95 ± 0.13	1.09 ± 0.08	**
接地時間 (sec)	0.13 ± 0.01	0.37 ± 0.06	**
滞空時間 (sec)	0.12 ± 0.02	-	-
両足接地時間 (sec)	-	0.02 ± 0.02	-
脚スウィング時間 (sec)	0.37 ± 0.04	0.33 ± 0.03	**

**：動作間で有意差がある ($p < 0.01$)

上位群と下位群における疾走，全力速歩の測定項目の比較を表 4 に示す．2 群間での対応のない t 検定の結果，疾走において上位群の方が有意に高い走速度（上位群： 8.22 ± 0.22 m/s，下位群： 7.44 ± 0.33 m/s）とピッチ（上位群： 4.22 ± 0.33 Hz，下位群： 3.83 ± 0.27 Hz）を示し，接地時間（上位群： 0.12 ± 0.01 sec，下位群： 0.14 ± 0.01 sec）と脚スウィング時間（上位群： 0.36 ± 0.04 sec，下位群： 0.39 ± 0.03 sec）が有意に短かった．しかし，全力速歩の試技においては，各項目で群間差は認められなかった．以上より，上位群は短い接地時間で高いピッチを獲得し，走速度を高めていたことが示された．

表 4 で示したデータを基に疾走と全力速歩における移動速度，ピッチ，ストライドの関係を図 2 に示す．横軸がピッチ，縦軸がストライド，図中の黒線は等速線を示している．疾走では，群間におけるストライドの差でなく，ピッチが走速度の違いを生じさせる要因であると理解できる．しかし，全力速歩においては群間差は認められなかった．

表 4 上位群と下位群における疾走および全力速歩の
キネマティクス変数の比較（角度系データを除く）

		上位群	下位群	t検定
疾走	走速度 (m/s)	8.22 ± 0.22	7.44 ± 0.33	**
	ピッチ (Hz)	4.22 ± 0.33	3.83 ± 0.27	**
	ストライド (m)	1.96 ± 0.14	1.95 ± 0.12	n.s.
	接地時間 (sec)	0.12 ± 0.01	0.14 ± 0.01	**
	滞空時間 (sec)	0.12 ± 0.02	0.13 ± 0.02	n.s.
	脚スウィング時間 (sec)	0.36 ± 0.04	0.39 ± 0.03	*
	全力速歩速度 (m/s)	3.06 ± 0.50	2.93 ± 0.31	n.s.
全力速歩	ピッチ (Hz)	2.83 ± 0.42	2.67 ± 0.40	n.s.
	ストライド (m)	1.08 ± 0.07	1.11 ± 0.09	n.s.
	接地時間 (sec)	0.36 ± 0.05	0.38 ± 0.06	n.s.
	両足接地時間 (sec)	0.02 ± 0.02	0.03 ± 0.02	n.s.
	脚スウィング時間 (sec)	0.32 ± 0.02	0.33 ± 0.03	n.s.

* : 群間で有意差がある (* : p<0.05, ** : p<0.01)

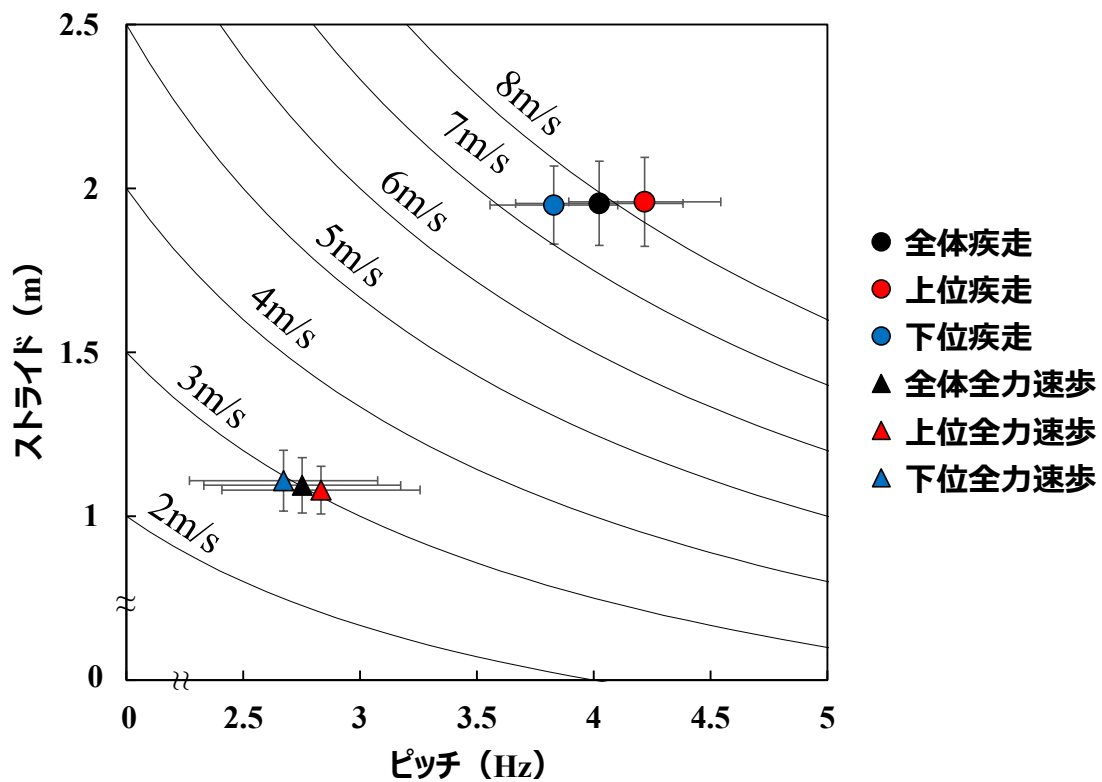


図 2 群間での疾走および全力速歩における
移動速度，ピッチ，ストライドの関係

疾走と全力速歩におけるピッチ，ストライドの関係から，それぞれの移動様式において，走速度，全力速度における速度（以下，歩行速度）とピッチ，ストライドの散布図を図 3 に示す．その結果，被験者全体の走速度は疾走時のピッチ（以下，疾走ピッチ）と有意な正の相関関係が認められた（図 3b； $r=0.70$ ， $p<0.01$ ）．また，上位群の走速度も疾走ピッチとの間に有意な正の相関関係が認められた（図 3b； $r=0.61$ ， $p<0.01$ ）．一方，下位群の走速度は疾走ピッチ，疾走時のストライド（以下，疾走ストライド）との間に有意な関係はみられなかった（図 3d）．つまり，被験者全体と上位群に共通して走速度は疾走ピッチの影響を大きく受けることが明らかになった．

一方，歩行速度は全力速歩におけるピッチ（以下，全力速歩ピッチ）との間に有意な正の相関関係が認められた（図 3a；全体： $r=0.86$ ， $p<0.01$ ；上位群： $r=0.90$ ， $p<0.01$ ；下位群： $r=0.86$ ， $p<0.01$ ）．しかし，歩行速度と全力速歩の際のストライド（全力速歩ストライド）の関係は認められなかった（図 3c）．以上より，全力速歩の歩行速度は疾走と同様に，ピッチ（全力速歩ピッチ）によってコントロールされていることが明らかになった．

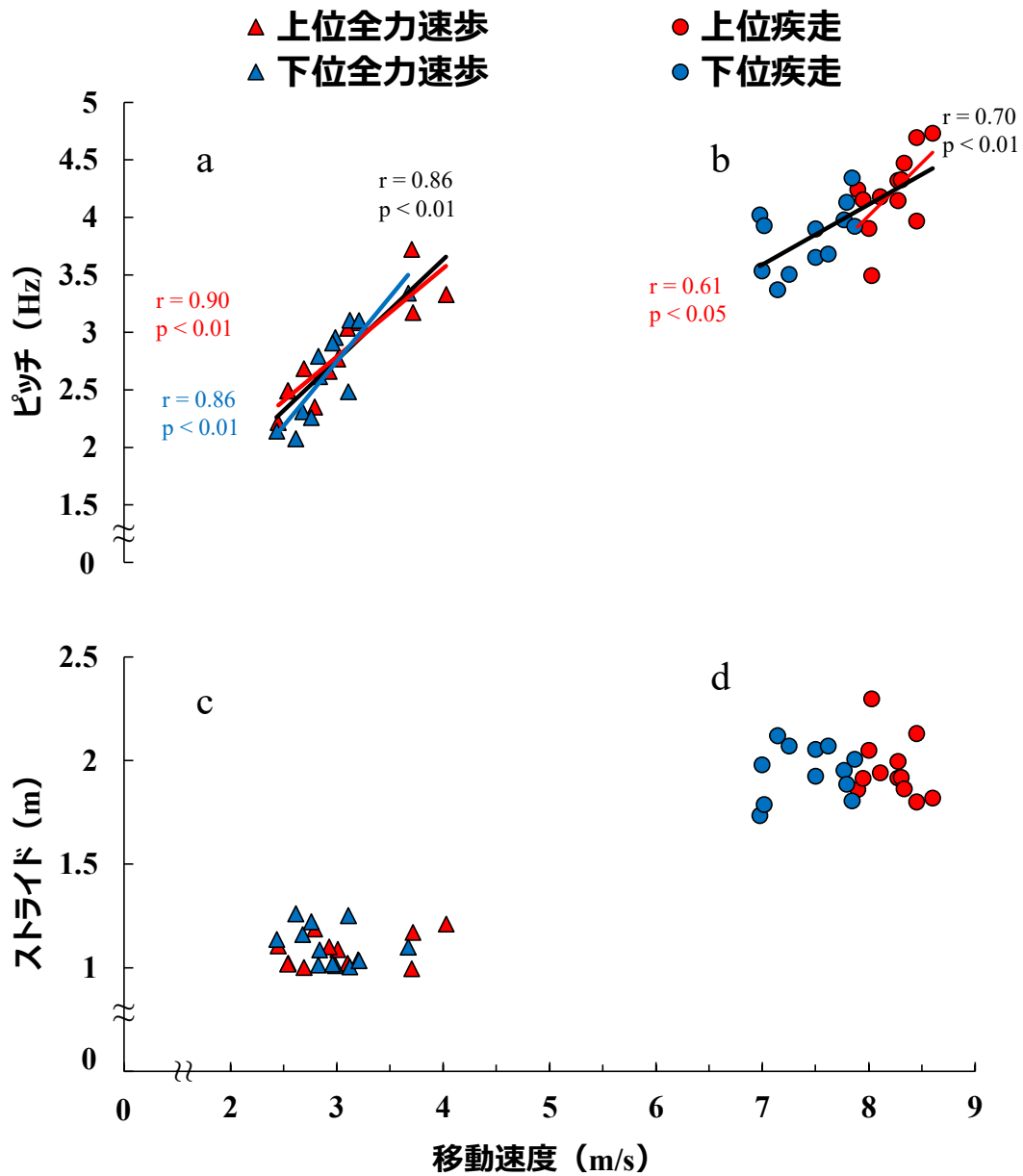


図 3 走速度，歩行速度とピッチ，ストライドの関係

3-1-2. ピッチ，ストライドと接地時間，滞空時間，両足接地時間および脚スウィング時間の関係

全力速歩におけるピッチおよびストライドと接地時間，両足接地時間，全力速歩における脚スウィング時間（以下，全力速歩脚スウィング時間）の関係を示す散布図を図 4 に，疾走におけるピッチおよびストライドと接地時間，滞空時間，疾走における脚スウィング時間（以下，疾走脚スウィング時間）の関係を示す散布図を図 5 に示す。

図 4 から被験者全体で全力速歩ピッチと接地時間には有意な負の相関関係にあることが示された（図 4a；全体： $r=-0.99$ ， $p<0.01$ ；上位： $r=-0.99$ ， $p<0.01$ ；下位： $r=-0.99$ ， $p<0.01$ ）。同様に両足接地時間と全力速歩ピッチの間にも有意な負の相関関係が示されたにあることが示された（図 4c；全体： $r=-0.91$ ， $p<0.01$ ；上位： $r=-0.92$ ， $p<0.01$ ；下位： $r=-0.91$ ， $p<0.01$ ）。また，全力速歩ピッチと全力速歩脚スウィング時間の関係では被験者全体で有意な負の相関関係がみられ，（図 4e；全体： $r=-0.68$ ， $p<0.01$ ）。群間での検討では下位群にのみ全力速歩ピッチと全力速歩脚スウィング時間の間に有意な負の相関関係が確認された（図 4e；下位： $r=-0.87$ ， $p<0.01$ ）。以上より，被験者全体で全力速歩ピッチは接地時間，両足接地時間および全力速歩脚スウィング時間によってコントロールされていることが示され，全力速歩ピッチの高い被験者は時間的要因が短い傾向にあることが示された。一方，全力速歩ストライドは被験者全体で接地時間と有意な正の相関関係にあることが示された（図 4b； $r=0.51$ ， $p<0.05$ ）。また群間での全力速歩ストライドと接地時間の関係をみると，下位群において全力速歩ストライドと接地時間の間に有意な正の相関関係がみられた（図 4b； $r=0.78$ ， $p<0.01$ ）。また，全力速歩ストライドと全力速歩脚スウィング時間の間には被験者全体で有

意な正の相関関係が確認された（図 4f；全体： $r=0.84$ ， $p<0.01$ ；上位： $r=0.81$ ， $p<0.01$ ；下位： $r=0.86$ ， $p<0.01$ ）。一方，全力速歩ストライドと両足接地時間には有意な関係はみられなかった。以上より，全力速歩ストライドは接地時間と全力速歩脚スウィング時間の影響を受けていることが示され，全力速歩ストライドの大きい被験者は接地時間，全力速歩脚スウィング時間が長い傾向にあることが示された。

図 5 から疾走ピッチは被験者全体で滞空時間と有意な負の相関関係にあることが示された（図 5a；全体： $r=-0.79$ ， $p<0.01$ ；上位： $r=-0.83$ ， $p<0.01$ ；下位： $r=-0.86$ ， $p<0.01$ ）。また，疾走ピッチと接地時間でも有意な負の相関関係が確認された（図 5c；全体： $r=-0.61$ ， $p<0.01$ ）。同様に疾走ピッチと疾走脚スウィング時間でも被験者全体で有意な負の相関関係が示された（図 5e；全体： $r=-0.95$ ， $p<0.01$ ；上位： $r=-0.94$ ， $p<0.01$ ；下位： $r=-0.96$ ， $p<0.01$ ）。以上より疾走ピッチは滞空時間，接地時間および疾走脚スウィング時間によってコントロールされていることが明らかになり，疾走ピッチの高い被験者は時間的要因が短い傾向にあることが示された。一方，疾走ストライドは滞空時間と有意な正の相関関係にあることが示された（図 5b；全体： $r=0.78$ ， $p<0.01$ ；上位群： $r=0.80$ ， $p<0.01$ ；下位群： $r=0.81$ ， $p<0.01$ ）。また，疾走ストライドは疾走脚スウィング時間とも有意な正の相関関係が確認された（図 5f；全体： $r=0.78$ ， $p<0.01$ ；上位： $r=0.89$ ， $p<0.01$ ；下位： $r=0.85$ ， $p<0.01$ ）。反対に疾走ストライドと接地時間の間には有意な関係はみられなかった（図 5d）。以上より疾走ストライドは滞空時間，疾走脚スウィング時間の影響を強く受けることが示され，疾走ストライドの大きな被験者は接地時間，疾走脚スウィング時間が長い傾向にあることが示された。

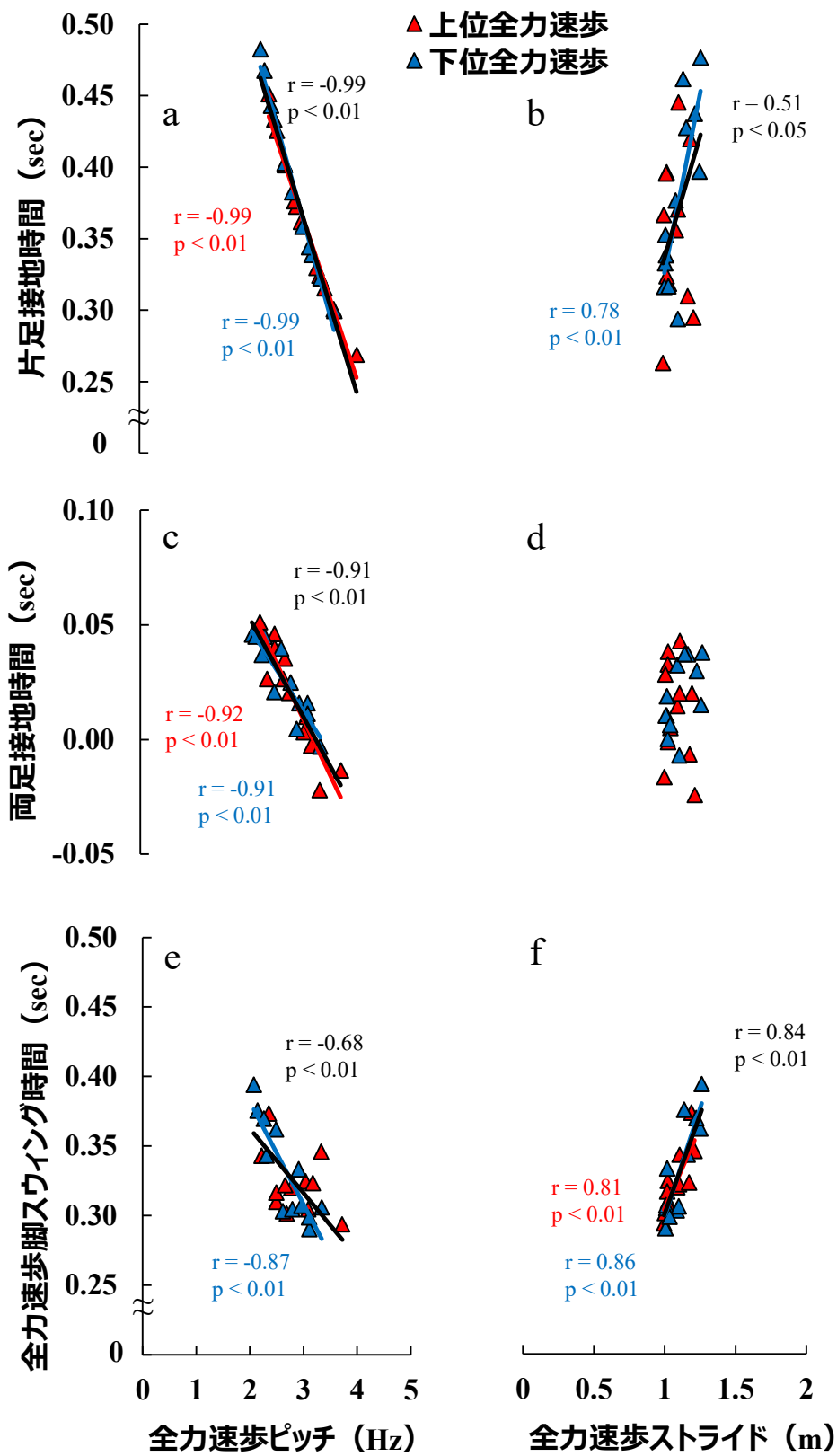


図 4 全力速歩におけるピッチ、ストライドと

片足接地時間、両足接地時間および全力速歩脚スウィング時間の関係

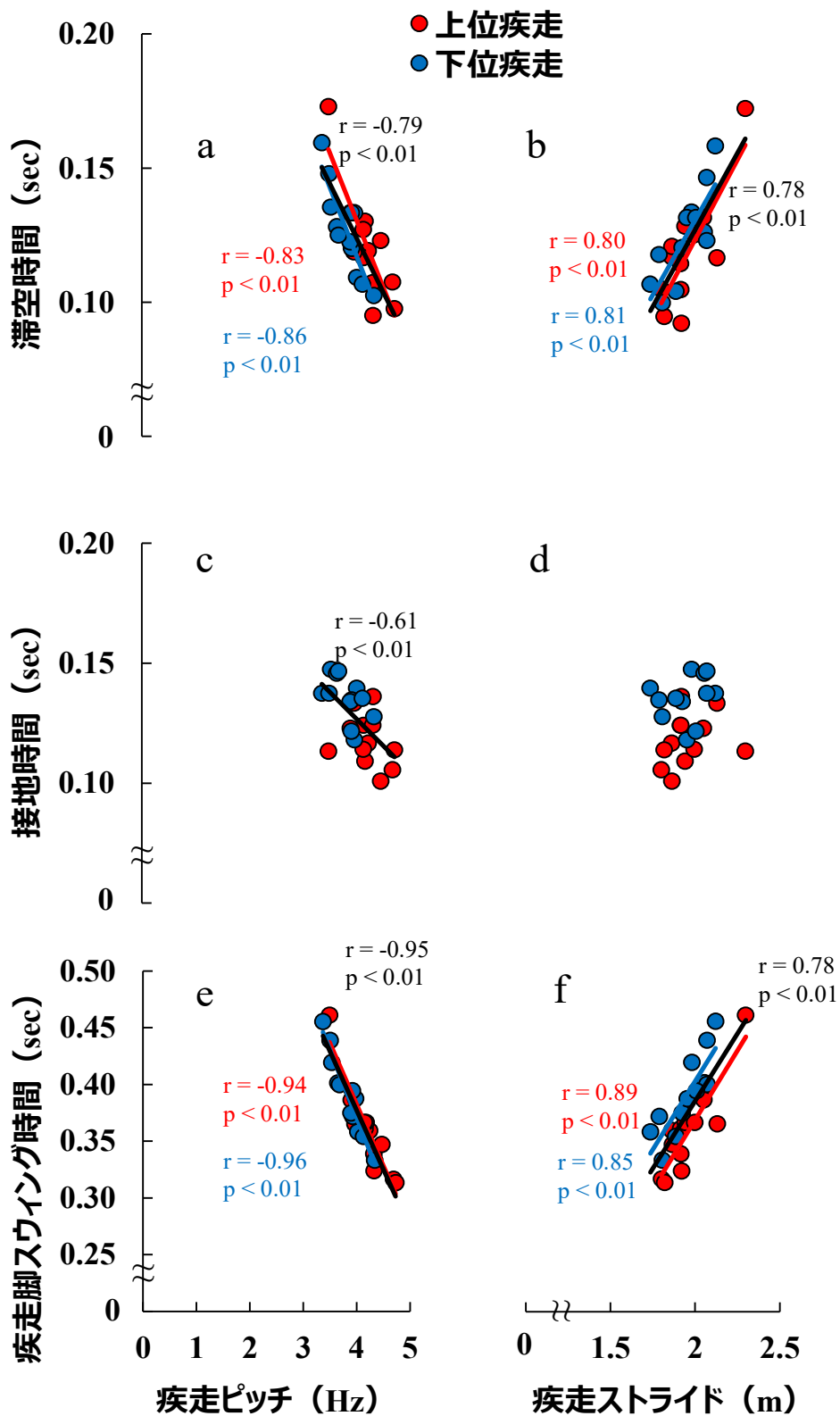


図5 疾走におけるピッチ、ストライドと
接地時間、滞空時間および疾走脚スウィング時間の関係

3-2. 上位群と下位群の疾走および全力速歩における支持期中の動作について

3-2-1. 支持期中の角度変化について

上位群と下位群の疾走における支持期（以下，疾走支持期）中の体幹傾斜角度と下肢三関節（股関節，膝関節，足関節）における角度変化を図 6 に示す．角度変化は支持期の時間を 100%で規格化し，群間で 10%ごとの平均角度を算出し，支持期中の角度変化を経時的に示した．

図 6d に示した足関節の疾走支持期中の角度変化は支持期の 10%から 80%時間にかけて，上位群が有意に底屈位にあることが示された．一方，体幹傾斜角度（図 6a），股関節（図 6b）および膝関節（図 6c）においては，疾走支持期中に群間で有意な角度差は認められなかった．以上より，上位群は疾走支持期中に足関節を底屈位に保って走動作を行っていることが示された．

続いて，上位群と下位群の全力速歩における支持期（以下，全力速歩支持期）中の下肢三関節と体幹傾斜角度における角度変化を図 7 に示す．全力速歩支持期ではすべての関節において群間による有意な角度の差は認められなかった．以上より，全力速歩支持期中における角度変化は群間での有意差がみられず，上位群と下位群で同等の動作であったことが示された．

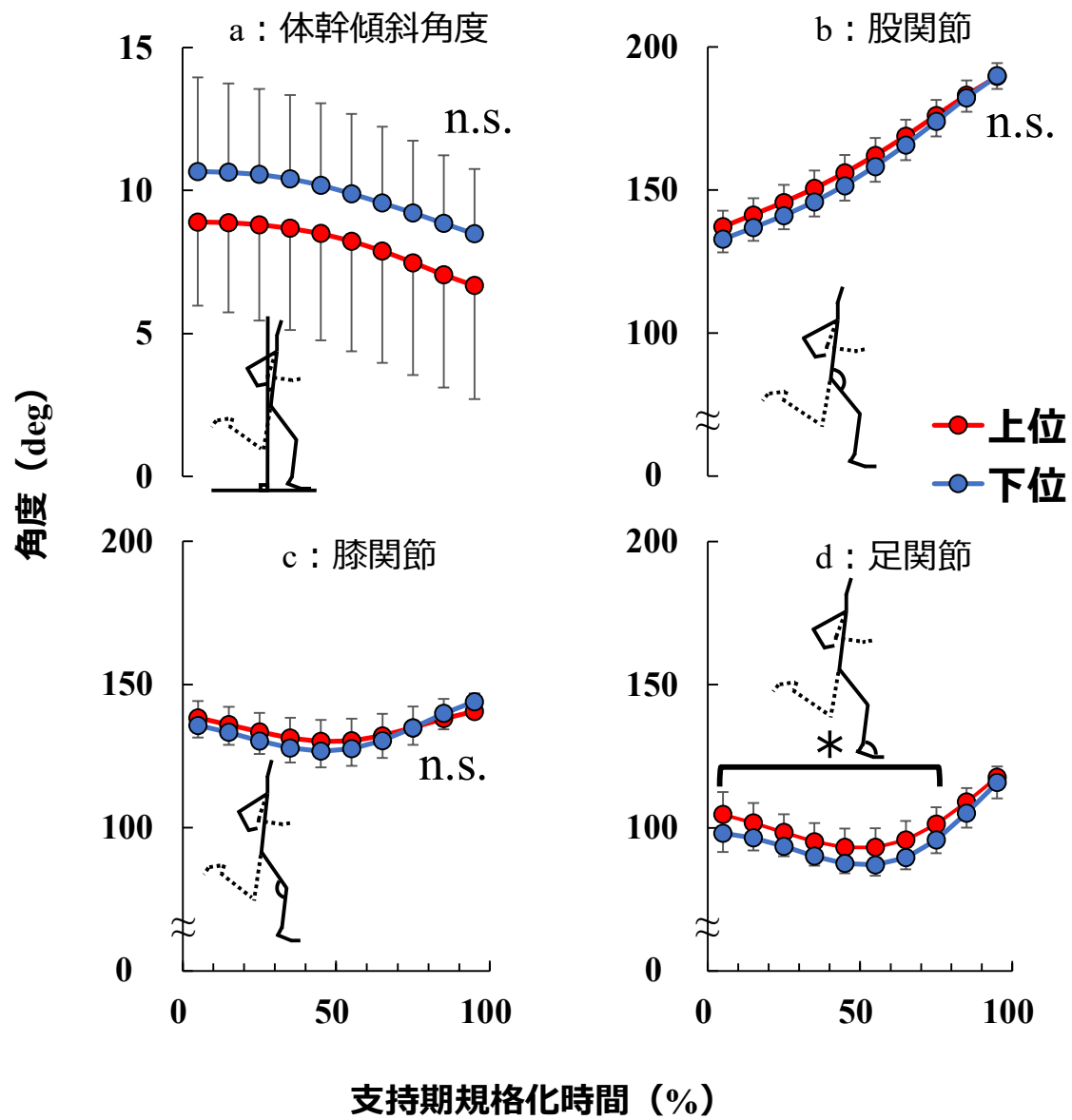


図 6 上位群と下位群の疾走支持期における

下肢三関節と体幹傾斜角度の角度変化

* : 群間で有意差が認められた (p<0.05)

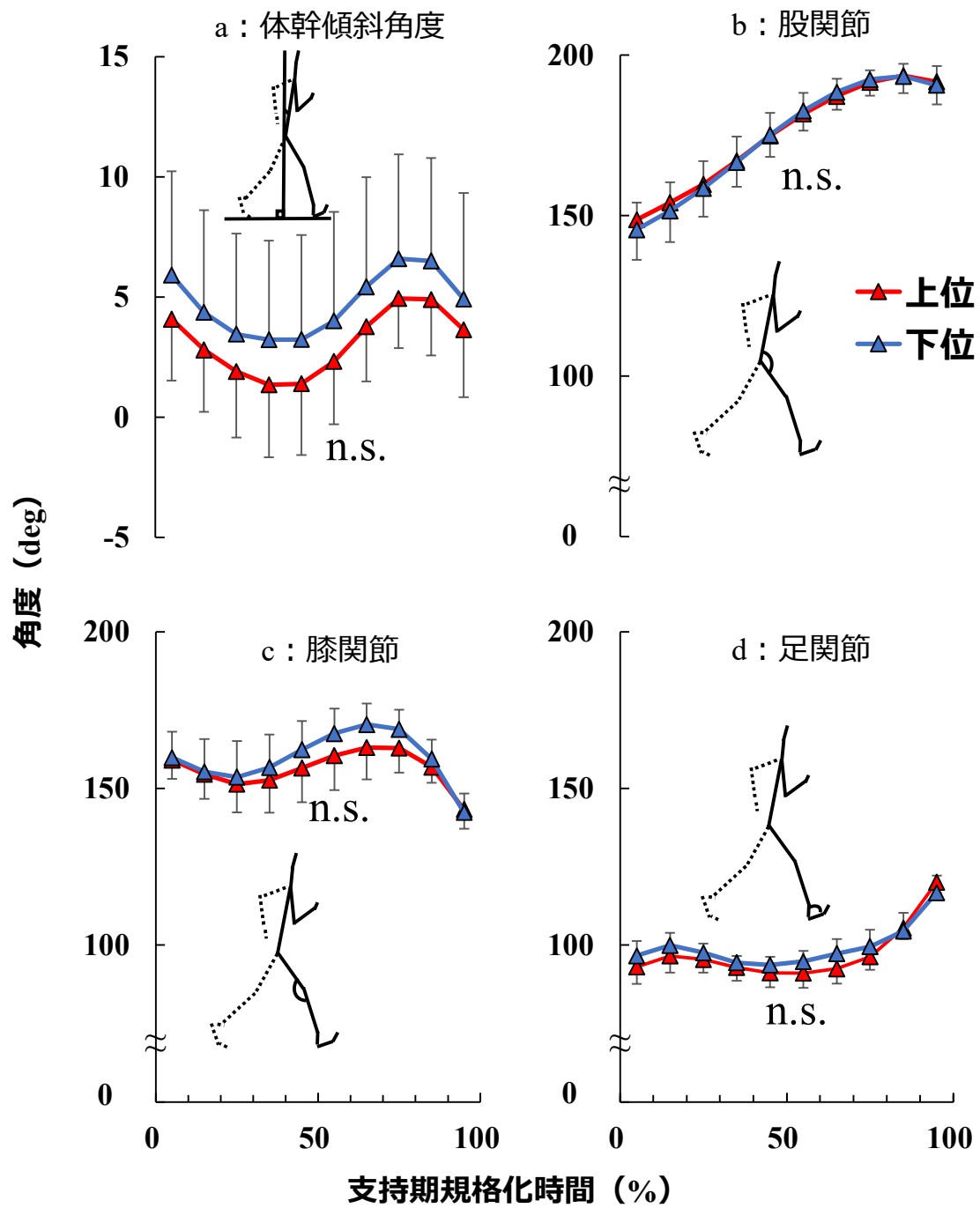


図7 上位群と下位群の全力速歩支持期における
下肢三関節と体幹傾斜角度の角度変化

3-2-2. 支持期中の角速度変化について

疾走支持期における上位群と下位群の，下肢三関節における角速度の変化を図 8 に示す．また全力速度支持期における群間での下肢三関節の角速度の変化を図 9 に示す．角速度変化についても角度変化同様，支持期時間を 100%で規格化し，群間で 10%ごとの平均角速度を算出し，支持期中の角速度変化を経時的に示した．

疾走支持期における角速度の変化では，上位群が疾走支持期の 20%から 40%時間にかけて有意に高い股関節伸展角速度を發揮し（図 8a），疾走支持期の 60%から 90%時間にかけて有意に低い膝関節伸展角速度を示していた（図 8b）．一方，足関節角速度においては群間による有意差は認められなかった（図 8c）．以上より，上位群は疾走支持期の前半により速く股関節を伸展させ，支持期の後半には膝関節の伸展を抑えていたことが示された．

全力速歩支持期における下肢三関節の角速度変化の変化では，上位群が支持期の 80%から 90%時間にかけて有意に高い足関節底屈角速度を示していた（図 9c）．一方，股関節角速度（図 9a）および膝関節角速度（図 9b）では群間差は認められなかった．ここから上位群は全力速歩支持期の後半に足関節の底屈をより素早く行っていたことが示された．

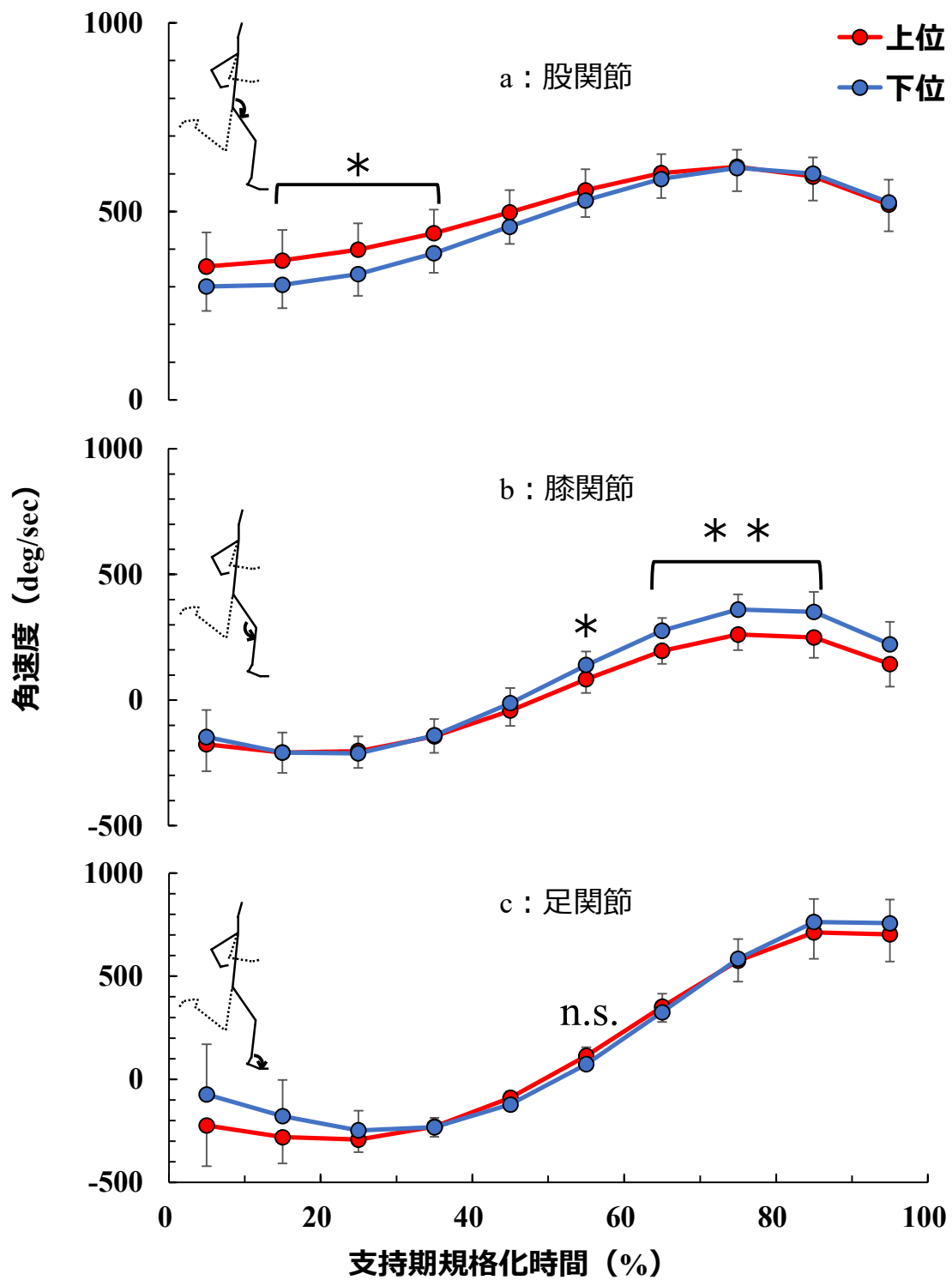


図 8 疾走支持期における下肢三関節の角速度の変化

* : 群間で角速度に有意差が認められた (* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)

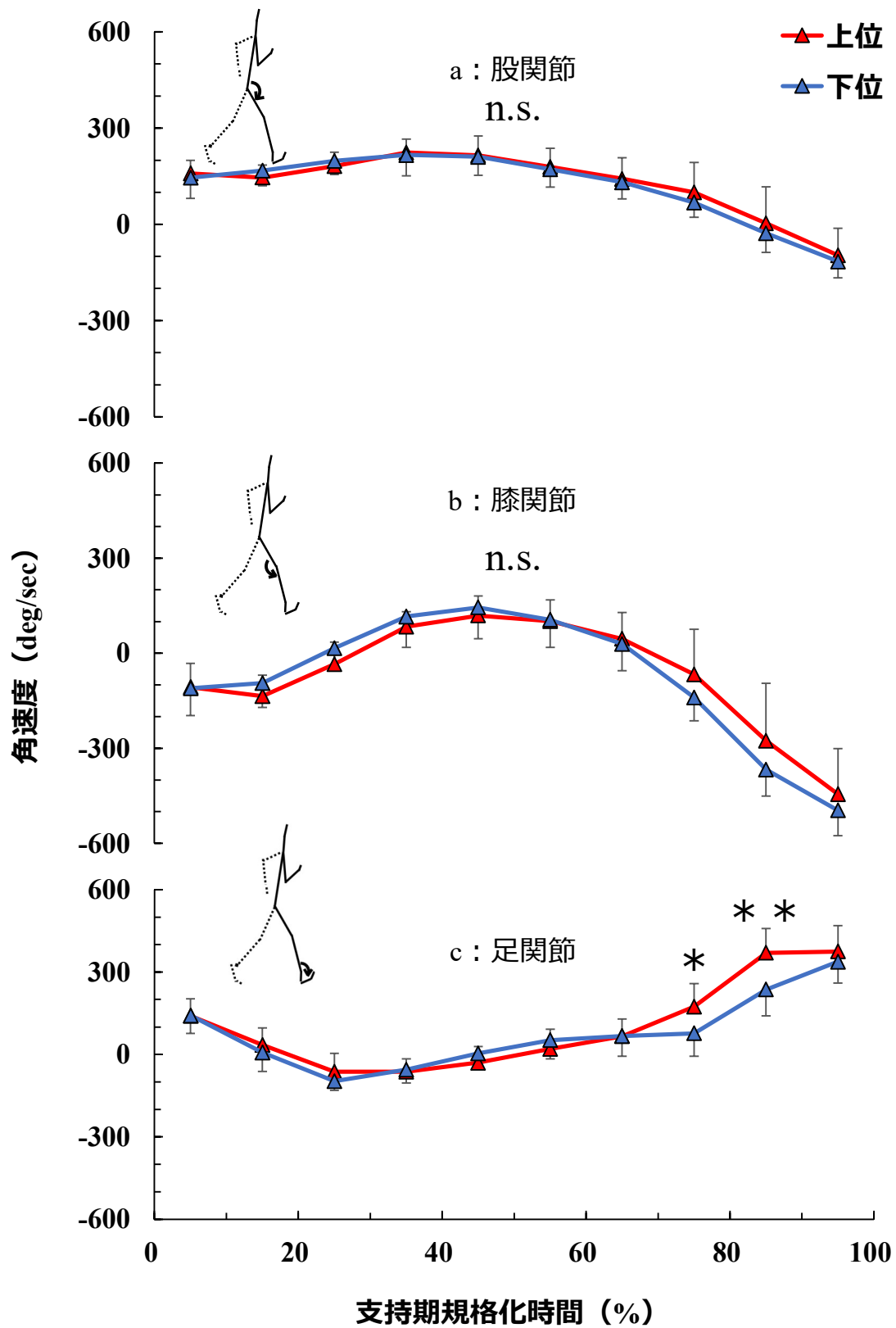


図 9 全力速歩支持期における下肢三関節の角速度の変化

* : 群間で角速度に有意差が認められた (* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)

3-2-3. 支持期中の角度および角速度の最大値と最小値について

上位群と下位群の疾走支持期中における体幹傾斜角度および下肢三関節の角度と角速度の最大値，最小値を表 5 に示す．また，全力速歩支持期での同様の結果を表 6 に示す．

表 5 より，疾走支持期中の角度および角速度の最大値，最小値で有意差がみられたのは膝関節角速度の最大値（上位群： 281.2 ± 76.4 deg/sec，下位群： 380.5 ± 69.0 deg/sec）と足関節角度の最小値（上位群： 92.7 ± 6.8 deg，下位群： 86.6 ± 3.6 deg）であった．しかし，その他の角度系のデータでは群間差は確認されなかった．角度系データにおける最大値は伸展位（底屈位），最小値は屈曲位（背屈位）を示していることから，上位群は下位群と比較して疾走支持期中における膝関節伸展角速度の最大値が低く，足関節の背屈角度の最小値が小さいことが明らかになった．

一方，表 6 より全力速歩支持期中における足関節角速度の最大値で群間での有意差がみられた（上位群： 470.7 ± 75.6 deg/sec，下位群： 400.8 ± 76.4 deg/sec）．その他の角度系のデータでは群間差は認められなかった．以上より，上位群は下位群と比較して全力速歩支持期中の足関節底屈角速度の最大値が高いことが示された．

表 5 疾走支持期における角度および角速度の最大値，最小値

			上位	下位	t検定
体幹傾斜角度	角度 (deg)	最大	9.5 ± 3.4	11.1 ± 3.1	n.s.
		最小	6.37 ± 3.8	8.2 ± 2.2	n.s.
股関節	角度 (deg)	最大	192.5 ± 4.4	193.1 ± 4.7	n.s.
		最小	135.4 ± 5.5	131.0 ± 4.6	n.s.
	角速度 (deg/sec)	最大	628.8 ± 41.4	626.9 ± 62.3	n.s.
		最小	331.7 ± 77.8	290.5 ± 56.4	n.s.
膝関節	角度 (deg)	最大	141.3 ± 6.1	145.3 ± 5.1	n.s.
		最小	129.7 ± 7.5	126.4 ± 5.5	n.s.
	角速度 (deg/sec)	最大	281.2 ± 76.4	380.5 ± 69.0	* *
		最小	-226.6 ± 72.3	-233.4 ± 74.1	n.s.
足関節	角度 (deg)	最大	121.4 ± 3.7	120.4 ± 5.6	n.s.
		最小	92.7 ± 6.8	86.6 ± 3.6	*
	角速度 (deg/sec)	最大	742.3 ± 132.8	802.8 ± 117.0	n.s.
		最小	-338.5 ± 89.2	-296.03 ± 80.0	n.s.

* : 群間で有意差がある (* : p<0.05, ** : p<0.01)

表 6 全力速歩支持期における角度および角速度の最大値，最小値

			上位	下位	t検定
体幹傾斜角度	角度 (deg)	最大	5.6 ± 2.2	7.7 ± 4.2	n.s.
		最小	0.9 ± 3.2	2.2 ± 3.9	n.s.
股関節	角度 (deg)	最大	195.2 ± 4.1	194.4 ± 5.4	n.s.
		最小	146.0 ± 5.2	143.2 ± 9.0	n.s.
	角速度 (deg/sec)	最大	258.9 ± 44.8	273.9 ± 0.4	n.s.
		最小	-129.5 ± 69.7	-142.9 ± 41.1	n.s.
膝関節	角度 (deg)	最大	125.7 ± 4.0	122.3 ± 5.5	n.s.
		最小	97.5 ± 5.0	100.9 ± 3.8	n.s.
	角速度 (deg/sec)	最大	117.2 ± 56.6	193.4 ± 86.3	n.s.
		最小	-487.0 ± 109.3	-519.1 ± 75.9	n.s.
足関節	角度 (deg)	最大	125.7 ± 4.0	122.3 ± 5.5	n.s.
		最小	87.6 ± 4.9	91.3 ± 3.3	n.s.
	角速度 (deg/sec)	最大	470.7 ± 75.6	400.8 ± 76.4	*
		最小	-104.7 ± 58.8	-122.4 ± 28.6	n.s.

* : 群間で有意差がある (p<0.05)

3-3. 疾走と全力速歩の関係

3-3-1. 歩行速度と走速度の関係

歩行速度と走速度の関係を表す散布図を図 10 に示す。歩行速度と走速度の間に有意な相関関係が認められたのは下位群のみであった

($r=0.59$, $p<0.05$)。この結果より、下位群に限り歩行速度の高い被験者は走速度も高い傾向にあることが示された。

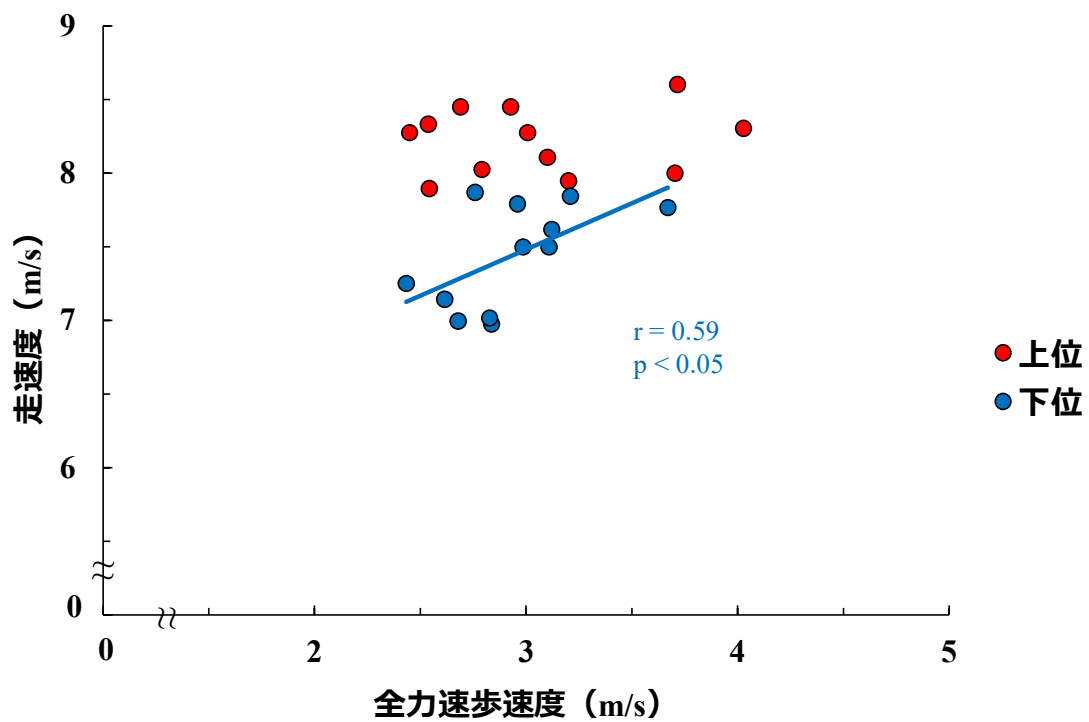


図 10 走速度と歩行速度の関係

3-3-2. 疾走と全力速歩におけるピッチ，ストライドの関係

疾走と全力速歩のピッチ，ストライドの関係を表す散布図を図 11 に示す．両移動様式のピッチについて，被験者全体で全力速歩ピッチと疾走ピッチの間に有意な正の相関関係が認められた（図 11a；全体： $r=0.40$ ， $p<0.05$ ）．また，群間で全力速歩ピッチと疾走ピッチの関係をみると，下位群にのみ有意な正の相関関係が認められた（図 11a；下位： $r=0.68$ ， $p<0.05$ ）．以上より，被験者全体では全力速歩ピッチが高いと疾走ピッチも高い傾向にあることが示された．また，下位群でも同様に全力速歩ピッチが高い被験者は疾走ピッチも高い傾向にあることが示された．上位群には全力速歩ピッチと疾走ピッチの間に有意な関係はみられなかった．

一方，両移動様式のストライドの関係をみると，被験者全体で全力速歩ストライドと疾走ストライドの間には有意な正の相関関係が認められた（図 11b；全体： $r=0.46$ ， $p<0.05$ ）．また，群間で全力速歩ストライドと疾走ストライドの関係をみると，下位群にのみ有意な正の相関関係が認められた（図 11b；下位群： $r=0.60$ ， $p<0.05$ ）．以上より，被験者全体では全力速歩ストライドが大きいと疾走ストライドも大きい傾向にあることが示された．また，下位群でも同様に全力速歩ストライドが大きい被験者は疾走ストライドも大きい傾向にあることが示された．上位群はピッチ同様，全力速歩ストライドと疾走ストライドの間に有意な関係はみられなかった．

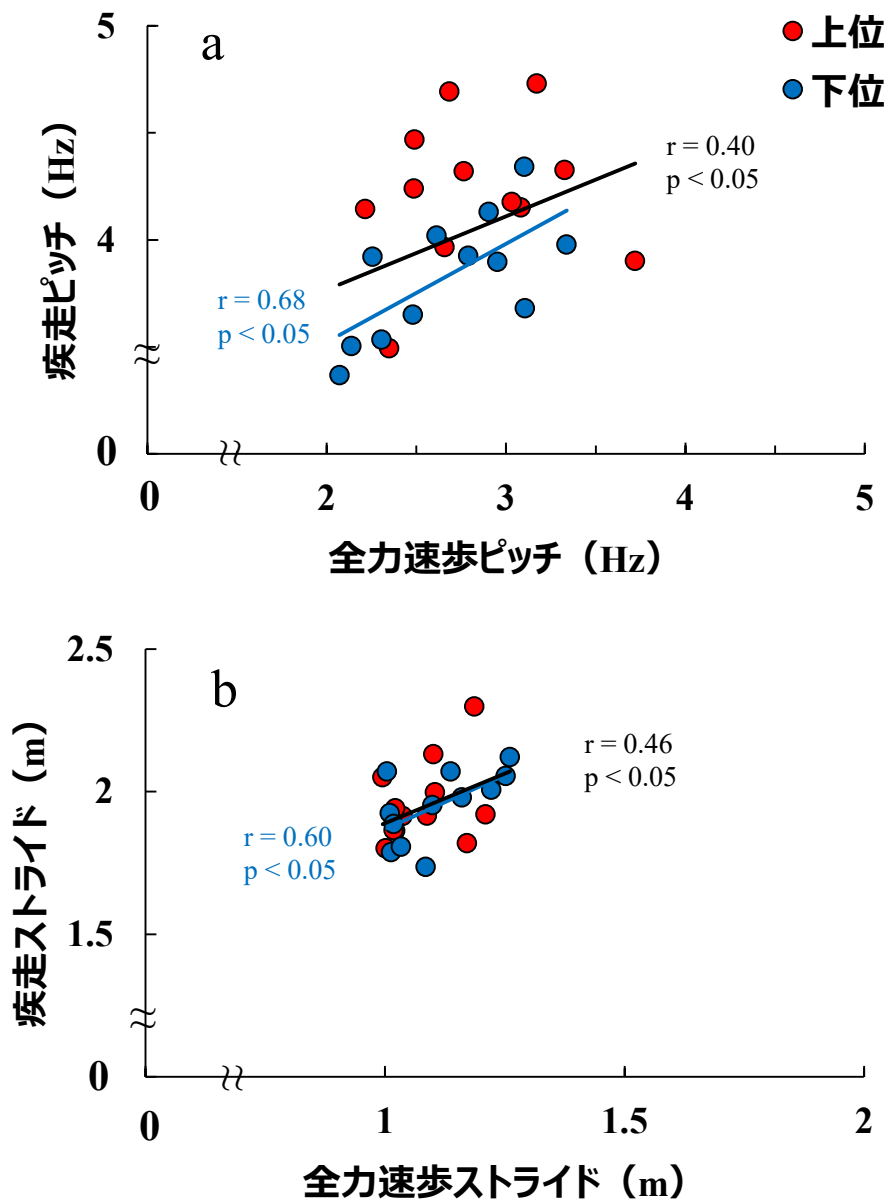


図 11 全力速歩ピッチと疾走ピッチ，
全力速歩ストライドと疾走ストライドの関係

IV. 考察

4-1. 高校生の全力速歩と疾走の関係

4-1-1. 全力速歩と疾走の速度，ピッチおよびストライドの関係

本研究ではこれまで別々に議論されてきた歩行と疾走の関係性を明らかにするために，全力速歩と疾走における速度，ピッチおよびストライドの関係を検討した．その結果，被験者全体で歩行速度と疾走速度には相関関係は認められなかったが，全力速歩と疾走のピッチ，ストライドにはそれぞれ相関関係が認められた（図 11）．従って，全力速歩と疾走は互いの速度には関係がみられないものの，全力速歩ピッチが高い被験者は疾走ピッチも高く，全力速歩ストライドの大きな被験者は疾走ストライドも大きい傾向にあることが明らかになった（図 11）．この結果から，これまでは別の動作としてとらえられてきた男子高校生の歩行と疾走のピッチ，ストライドは互いに関係があることが示唆された．

全力速歩と疾走の関係について群間での特徴を検討すると，下位群でのみ全力速歩と疾走の速度，ピッチおよびストライドに相関関係が認められた（図 10，図 11）．すなわち，下位群における全力速歩と疾走は互いに関わりがあることが示された．しかし，被験者全体のピッチとストライドのそれぞれで全力速歩と疾走の相関関係が認められているにも関わらず（図 11），ピッチ，ストライドの積である速度に相関関係が認められなかったことについては（図 10），測定方法および分析方法も含め，今後の研究の課題であるといえる．

4-1-2. 全力速歩と疾走の動作の関係

歩行と疾走の動作の関係性について谷川ら（2008）は成人を対象に競技者である短距離選手と非競技者の疾走と速歩の動作を比較し，走速度

の高い競技者は疾走と速歩に共通して支持期の膝関節屈曲が小さかったことを報告している。本研究の結果からは全力速歩と疾走において群間で膝関節の角度変化に共通点はみられず、股関節や足関節においても歩行と疾走で共通した動作は確認されなかった。

しかし、それぞれの動作に着目すると、全力速歩と疾走における群間での動作の違いが確認された。全力速歩では足関節の動作に群間での違いがみられ、上位群の足関節底屈角速度が全力速歩支持期後半（80-90%）で下位群よりも有意に高かった示された（図 9c）。加えて全力速歩支持期中の足関節底屈角速度の最大値が有意に高いことも示された（表 6）。従って、上位群は全力速歩支持期後半に足関節の底屈を素早く行い、より地面を蹴り出すように離地していたことが理解できる。先行研究でも同様の結果がみられ（Hanley et al., 2011）、競歩選手はこれにより支持期から次のスウィング期に移行していることが報告されている（Hanley & Bissas, 2013）。次に走動作に着目すると、上位群は支持期前半（20-40%）に股関節伸展角速度が有意に高かったこと、支持期後半（60-90%）で膝関節の伸展角速度が有意に低かったこと、足関節角度が支持期（10-80%）で有意に底屈位であった（図 6d, 図 8a, 図 8b）。疾走支持期中の角度および角速度の最大値、最小値をみても、上位群の膝関節伸展角速度の最大値が有意に低く、足関節背屈角度である最小角度が有意に大きいことが示された（表 5）。上位群にみられた高い股関節伸展角速度、膝関節の伸展を抑える脚操作および支持期中の足関節を底屈位に保つといった走動作の特徴は、伊藤ら（1998）が報告している短距離選手の動作の特徴と同様であった。

4-2. 短距離走授業において全力速歩に着目した新しい指導視点

4-2-1. 全力速歩と疾走のピッチの関係から得られる指導の視点

加藤・宮丸（2006）の報告や本研究結果（図 3b）から高校生の走速度はストライドの増加よりもピッチの向上の影響を受けることが明らかになった。また、本研究の結果から全力速歩ピッチの高い生徒は疾走ピッチも高い傾向にあることが示され（図 11a）、全力速歩におけるピッチ向上に着目することで歩行を通じた新しい短距離走の指導が行える可能性が示唆された。特に本研究結果（図 11a）から、実際の指導場面では走速度が低い生徒を対象に全力速歩ピッチ向上を通じた短距離走指導を行うことがより重要かつ効果的になることが考えられる。

歩行中のピッチは、接地時間の短縮に伴い増加することが先行研究（Padulo et al., 2013a ; Padulo et al, 2013b）から明らかになっている。本研究結果においても被験者全体のデータより、全力速歩ピッチが高い生徒は全力速歩における接地時間と全力速歩脚スウィング時間が短い傾向が示された（図 4a, 図 4e）。ピッチは単位時間当たりの歩数、すなわち脚の素早い回転であることを踏まえると、接地時間や脚スウィング時間などの時間的要因を短縮することでピッチを増加させられると考えられる。先行研究でも、非競技者の歩行速度が増加することに伴い 1 サイクルに要する時間が短縮されることや（Jordan et al., 2007）、競技者は歩行速度を増加させる過程でピッチを高めていること（Preatoni et al., 2006）が報告されている。従って、学校体育の授業で高い速度の歩行を行わせ、接地時間や脚スウィング時間を短縮させるような動作の指導を行うことで、全力速歩のピッチを高めることができると考えられる。

また、全力速歩における脚スウィング時間と疾走の関係に着目する

と、全力速歩における脚スウィング時間が短い生徒は疾走における脚スウィング時間が短く（図 12）、疾走ピッチも高い傾向にあることが被験者全体で示された（図 13）。すなわち、全力速歩で離地後の脚を前方に素早くスウィングできる生徒は疾走でも同様の動作を行うことで、高い疾走ピッチを獲得していたと考えられる。先行研究（伊藤ら，1998）および本研究結果（図 5e）から疾走での脚のスウィング動作を素早く行うことが高い走速度や疾走ピッチの獲得に重要であることが明らかになっている。従って、学校体育の授業でも疾走時に離地後の脚を前方に素早く振り出す動作や、前方に振り出された脚を素早く引き戻し接地する動作の指導が重要になる。その際、全力速歩の脚スウィング時間に着目することで、疾走における脚のスウィング動作や疾走ピッチおよび走速度の改善につながる可能性が示唆された。また、全力速歩に着目した指導を行うことでケガ等により授業中に疾走が困難な生徒に対しても、スウィング脚を素早く操作するという合理的、専門的な動作の学習を提供できると考えられる。

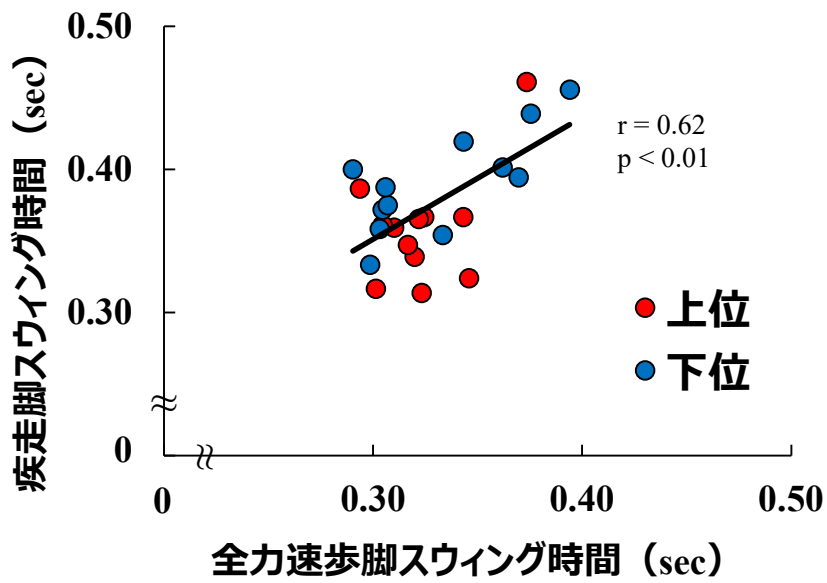


図 12 全力速歩脚スウィング時間と
疾走脚スウィング時間の関係

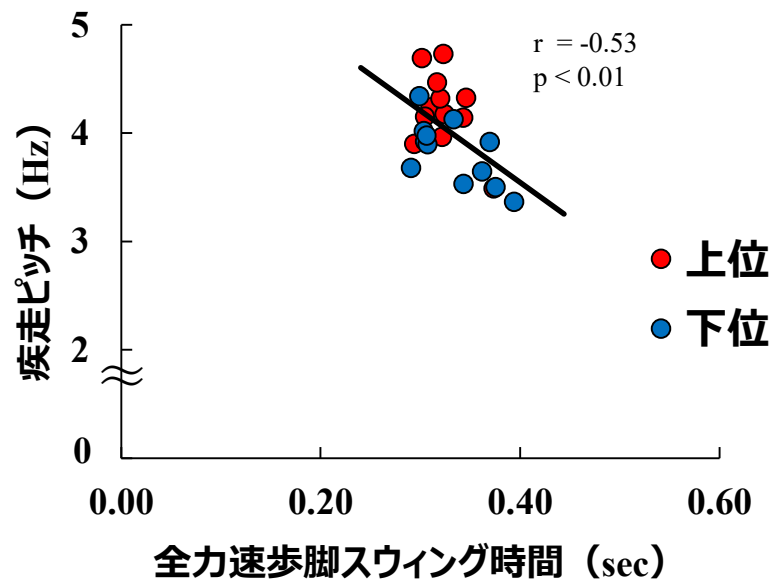


図 13 全力速歩脚スウィング時間と疾走ピッチの関係

学校体育の授業内で補助運動や部分練習に全力速歩などの高い速度の歩行を導入することで、歩行中の接地時間短縮やスウィング脚の素早い操作の学習が可能になると考えられる。その際、動作の指導および学習と併せて接地時間や脚スウィング時間が短縮されたかを確認することも重要であるといえる。本研究結果（表 3）から全力速歩における接地時間は約 0.4 秒、脚スウィング時間は約 0.3 秒と短く、目視やストップウォッチを用いての測定は困難である。そこでこのような時間的要因を測定するには歩行の様子を映像で撮影し、映像のフレームレートから時間情報を算出することが手段として考えられる。近年、教育現場でも ICT の導入が積極的に行われており、体育授業の中でも ICT を用いて映像撮影を行い、自他の動作を観察することが求められている（文部科学省，2019）。このように授業内で撮影した映像を目視で確認，観察するだけでなく，生徒自身がデータを算出することで動作を客観的に学習するきっかけになり，科学的な視点から動作の理解が深められる。

また，この様な全力速歩と疾走の関係を知識として生徒に享受することで短距離走の記録向上につながる重要な動きのポイントの学習や補助運動，部分練習の理解（文部科学省，2019）につながり，技能向上および知識の習得に結び付く。特に本研究結果（図 10，図 11）から全力速歩を通した短距離走指導がより重要かつ効果的であると考えられる。走速度の低い生徒は，短距離走に対して苦手意識を抱いていることが考えられる。従ってそのような生徒に疾走の指導を行っても十分な指導が行えない可能性がある。しかし，疾走とは異なる全力速歩を介して指導を行うことで新しい学習の可能性が生まれると考えられる。

4-2-2. 全力速歩と疾走の動作から得られる指導の視点

本研究結果から群間で全力速歩と疾走に共通する体幹傾斜角度や下肢三関節の角度，角速度の変化は確認されなかった．従って谷川ら（2008）が報告したような競技者と非競技者のように，走速度の違いによる全力速歩と疾走の共通動作は確認されなかった．しかし，走速度の高い生徒は全力速歩の支持期後半における足関節底屈角速度が有意に高いことが示され（図 9c），足関節の底屈動作を利用して地面を蹴り出すことを強調する特徴的な動作をすることがわかった．また，被験者全体における足関節底屈角速度の最大値と走速度の関係をみると，足関節底屈角速度の最大値が高い生徒は走速度も高い傾向にあることが明らかになった（図 14）．すなわち，全力速歩を行った際に足関節底屈動作を利用した地面の蹴り出しが強調して行えている生徒は高い走速度を有している可能性があるといえる．この特徴から学校体育の授業で全力速歩を行わせ，その際の足関節底屈動作を観察することで，疾走をさせなくとも生徒の走速度推定が行える可能性がある．全力速歩の動作観察から走速度の推定を行い，その結果を生徒同士で共有することで観察および評価は適切だったのかを生徒同士で確認し，動作についての議論を行うことができるだろう．これは目的を明確にした動作の観察，評価の学習や，それに基づいた意見の伝達，交換の学習（文部科学省，2019）につながると考えられる．文部科学省（2019）は短距離走の授業での学習例として，生徒間での走動作の観察を挙げていることから，動作の観察は短距離走の授業においても重要な学習観点であると理解できる．しかし，走動作は高い速度で実施される複雑な動作（伊藤ら，1998）であるため生徒が適切な観察，評価を行うことができない可能性がある．そこで，疾走の代わりに全力速歩を補助運動，部分練習として取り扱い，そ

の観察を行うことでより適切な動作観察および評価につながると考えられる。従って、全力速歩を体育授業内における動作観察のための部分練習、補助運動として用いることで、教員は生徒に対して疾走を観察せずとも走速度の推定が行えるという新しい動作観察の視点を享受することができる。また、生徒は動作観察を通じた動作の評価やそれに対する意見交換を授業内で行うことができ、技能のみでなく知識や思考・判断・表現の観点から実技を捉えることにつながる。このような観察学習は体育授業の中で重要な学習観点であるとされており（文部科学省，2019），短距離走の授業に全力速歩を導入することでその実現につながらう。

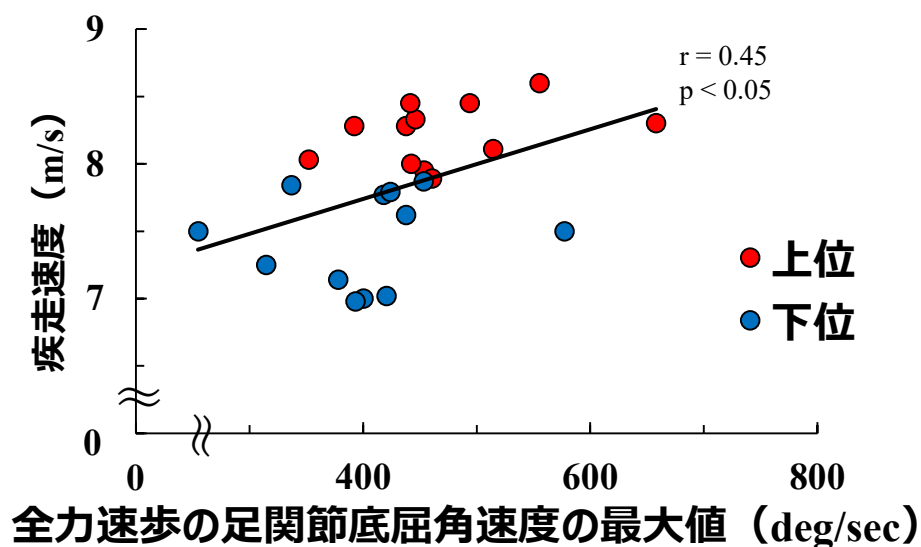


図 14 全力速歩の足関節底屈角速度の最大値と
疾走速度の関係

全力速歩における足関節動作の観察を体育授業の中で取り扱う際には、全力速歩と疾走で求められる足関節の動作が異なることを指導することが重要である。伊藤ら（1998）は高い走速度を有する競技者は足関節の底屈角速度が低い傾向にあることを報告しており、競技者は足関節

を用いた地面の蹴り出しを行わないことがわかる。しかし，授業内で観察する動作は足関節を用いた地面の蹴り出しであり，短距離走で求められる足関節の動作とは異なるものである。これは記録向上につながる動きのポイントが疾走と全力速歩で異なっており，このような知識を全力速歩の動作との対比で指導することで，短距離走の動作と知識を関連させて学習させることにつながる。文部科学省（2019）も動作や知識の一方のみでなく，互いに関連付けて指導することを重視しており，動作と知識の指導を合わせて行うことでより学習効果が得られるであろう。また，そのために全力速歩を導入することが短距離走授業の新しい指導の視点として有効になると考えられる。

V. 結論

本研究では一般高校生の全力速歩と疾走の関係性を明らかにし、学校体育における歩行を通した新しい短距離走指導の視点を獲得することを目的とした。一般高校生の全力速歩と疾走の移動速度、ピッチ、ストライドおよびそれぞれの動作を測定し全力速歩と疾走で比較を行うことで、それぞれの関係性を明らかにした。また、走速度によって生徒を群分けし、群間での特徴の違いから、学校体育の短距離走指導において歩行を通した指導の可能性について検討した。以上より、得られた知見は以下の通りであった。

- ① 一般高校生の歩行速度と走速度に関係はみられなかったものの、全力速歩ピッチが高いと疾走ピッチも高く、全力速歩ストライドが大きいと疾走ストライドも大きい傾向にあることが明らかになった。従って、全力速歩と疾走は互いに関係のある運動であることが示された。また、群間での検討から下位群でのみ全力速歩と疾走の関係が認められたことから、特に走速度の低い生徒では全力速歩と疾走の関係が強いと考えられる。
- ② 全力速歩と疾走の動作については、それぞれの運動で共通した動作は確認されず、全力速歩と疾走で異なる動作を行っていたことが示唆された。特に上位群は全力速歩と疾走において競技選手にみられるものと同様の動作を行っていた。
- ③ 一般高校生の走速度は疾走ピッチの影響を受けること、全力速歩と疾走のピッチに一定の関係性がみられたことを踏まえると、学校体育の授業で全力速歩のピッチに着目した短距離走指導が行える可能性が示唆された。特に全力速歩ピッチを高めるために全力速歩における接地時間、脚スウィング時間を短縮させるような動作の指導が

有効になる可能性がある。また，群間での検討から下位群でのみ全力速歩と疾走の関係が示されたことから，走速度の低い生徒に全力速歩を通した指導を実施することが重要かつ有効になるだろう。

- ④ 走速度の高い生徒は全力速歩支持期の後半における足関節底屈角速度が高いという傾向がみられ，足関節を用いて地面を蹴り出す動作を強調する，特徴的な動作を行っていたことが示された。従って，学校体育の授業内で全力速歩における足関節底屈動作を観察することで疾走をさせなくとも走速度の推定が行えると考えられる。この様に，動作観察の視点として全力速歩を短距離走の授業に取り入れることができると考えられる。それによって知識や思考・判断・表現の観点から実技を捉える学習につながるだろう。また，全力速歩の観察を行う際には歩行と走運動で足関節の役割，求められる動作が異なることを併せて指導することが重要である。

VI. 参考文献

阿江通良，鈴木美佐緒，宮西智久，岡田英孝，平野敬晴（1994）世界
一流スプリンターの 100m のレースパターンの分析—男子を中心に—。
佐々木秀幸，小林寛道，阿江通良監修，世界一流陸上競技者の技術．ベ
ースボールマガジン社，東京；14-28

Gesell A. (1940) *The First Five Years of Life*. Harper & Brothers Publishers,
London；70-75

Hanley B., Bissas A., Drake A. (2011) Kinematic characteristic of elite
men's and women's 20km race walking and their variation during race. *Sports
Biomechanics*, 10:110-124

Hanley B., Bissas A. (2013) Analysis of lower limb internal kinetics and
electromyography in elite race walking. *Journal of Sport Sciences*, 31:1222-
1232

星川佳広，村松正隆，飯田朝美，井伊希美，中島由晴（2011）競技力
の異なる男女ジュニア短距離選手の股関節筋力と筋横断面積．*トレーニ
ング科学*(23)2:153-165

Hunter J.P., Marshall R.N., McNair P.J. (2005) Relationship between
ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running
acceleration. *Journal of Applied Biomechanics*, 21(1):31-43

伊藤章，市川博啓，斎藤昌久，佐川和則，伊藤道郎，小林寛道
（1998）100m 走中間疾走局面における疾走動作と速度の関係．*体育学
研究*，43：260-273

伊藤宏（2007）小学校高学年の望ましい短距離疾走距離についての
研究．*スプリント研究*，17：32-40

Jordan K., Challis J.H., Newell K.M. (2007) *Walking speed*

influences on gait cycle variability. *Gait and Posture*, (26)128-134

加藤謙一，深川登志子，大鈴貴洋，宮丸凱史（2009）幼児期における歩行から走運動への発達過程に関する追跡的研究．*体育学研究*，54：307-315

加藤謙一，川本和久，関岡康雄（1985）中学生の疾走能力の発達に関する縦断的研究．*体育の科学*，35：858-862

加藤謙一，宮丸凱史（2006）一般高校生の疾走動作の特徴．*体育学研究*，51：165-175

加藤謙一，宮丸凱史，宮下憲，阿江通良，中村和彦，麻場一徳（1987）一般学生の疾走能力の発達に関する研究．*大学体育研究*，9：59-70

松尾彰文，広川龍太郎，柳谷登志雄，土江寛裕，杉田正明（2008）男女100mレースのスピード変化．*バイオメカニクス研究*，12(2)：74-83

宮丸凱史，加藤謙一（2002）走運動の始まり—歩行から走運動への動作パターンの変容—．*バイオメカニクス学会誌*，26(1)：22-26

宮崎明世，尾縣貢（2009）高校生の体育授業における走・投能力向上の可能性-動作改善に着目して-．*スポーツ教育学研究*，28(2):11-23

文部科学省（2018）小学校学習指導要領解説 体育編．東洋館出版社：東京

文部科学省（2018b）中学校学習指導要領解説 保健体育編．東山書房：京都

文部科学省（2019）高等学校学習指導要領解説 保健体育編 体育編．東山書房：京都

斉藤昌久，伊藤章（1995）2歳児から世界一流短距離選手までの疾走

能力の変化． 体育学研究， 40:104-111

Schepens B., Williams A.P., Cavagna A.G.(1998) The mechanics of running in children. *Journal of Physiology*, 509(3):927-940

Sugihara Takashi, Kondo Mitsuo, Mori Shiro and Yoshida Izumi (2006) Chronological change in preschool children's motor ability development in Japan from the 1960s to the 2000s. *International Journal of Sport and Health Science*, 4 : 49-56

スポーツ庁 (2019) 令和元年度全国体力・運動能力，運動習慣等調査結果．

https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/kodomo/zencyo/1411922_00001.html， 閲覧日：2021年1月8日

谷川 聡， 島田一志， 岩井浩一， 尾縣貢 (2008) 競技者と一般人の走および歩動作の特徴． 体育学研究， 53 : 75-85

豊嶋 陵司， 田内健二， 遠藤俊典， 磯繁雄， 桜井伸二 (2015) スプリント走におけるピッチおよびストライドの個人内変動に影響を与えるバイオメカニクスの要因． 体育学研究， (60)197-208

Padulo J., Annino G., D'Ottavio S., Vernillo G., Smith L., Migliaccio G.M., Tihanyi J. (2013a) Footstep analysis at different slopes and speeds in elite racewalking. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27:125-129

Padulo J., Annino G., Tihanyi J., Calcagno G., Vando S., Smith L., D'Ottavio S. (2013b) Uphill race walking at iso-efficiency speed. *Journal of Strength Conditioning Research*, 27:1964-1973

Pavei G., Torre A.L. (2016) The effects of speed and performance level on race walking kinematics. *Sport Sciences for Health*, (12)35-47

Phillips S.J., Jensen J.L. (1984) Kinematics of race walking, In J. Terauds, K. Barthels, E. Kriegbaum, R. Mann, & J. Crakes (Eds.), Proceedings of the IIinternational Biomechanics in sports. pp.71-80

Preatoni E., La Torre A. and Rodano R. (2006) A biomechanical comparison between racewalking and normal walking stance phase. Proceeding XXIV International Symposium on Biomechanics in Sports. Salzurg

渡邊聡, 加藤謙一 (2006) 中学校体育授業における短距離走の練習効果. 体育学研究, 51:689-702

World Athletics (2020) Book of Rules Technical Rules. pp.116-122.
<https://www.worldathletics.org/about-iaaf/documents/book-of-rules>, 閲覧

日 : 2021 年 1 月 8 日

VII. 謝辞

本学位論文は早稲田大学スポーツ科学学術院の磯繁雄教授の御指導の下、作成されました。同学術院、彼末一之教授、深見英一郎准教授には副査を快諾していただきました。3人の先生方には深く感謝申し上げます。また、実験に協力してくださった早稲田大学本庄高等学院の半田学院長をはじめ、諸先生方そして生徒の皆さんにも感謝申し上げます。副査の彼末先生はフロンティアリサーチセンターにいらっしゃり、普段はお世話になる機会は少なかったのですが、副査をご快諾いただきました。また様々な実験にご立会される様子を拝見させていただきながら、現場で研究活動を行う姿勢を勉強させていただきました。深見先生には私が学部生だった頃からお世話になっており、キャンパスでお会いするたびに何かと気にかけていただきました。講義などを通して子供に対して教育を行うことの意義や信念をご指導いただきました。助手の欠畑岳さんには研究活動のいろはを一から教えていただき、本学位論文の作成においてもデータ算出の方法やその解釈、文章の書き方に至るまで、懇切丁寧にご指導いただきました。岳さんは私が競走部に所属していたころから大変お世話になり、大学院進学後も食事にもよく連れて行ってくださり、研究の話や競走部時代の話、くだらない話から熱い話まで様々な話で盛り上がり、お世話になりました。岳さんの熱い姿勢や取り組み方はとても刺激的で、何事においても勉強させていただきました。本当にありがとうございました。また研究室のメンバーである押切君と姜君、1年先にご卒業された吉岡さん、そして学部のゼミ生のみんなにも深く感謝いたしております。個性的なメンバーで、程よく砕けた部分もあり、皆さんの支えや存在があってこそその大学院の2年間だったと思います。本当にありがとうございました。

そして、磯先生。磯先生には本学位論文の作成にあたりテーマの設定から実験、データの解釈や文章の構成まで細かくご指導いただきました。今年度は新型コロナウイルスの影響で予定通り研究活動を進めるのが困難だった時期もご助言をいただき、データが思ったように出なかった時も丁寧で温かなアドバイスを頂戴し、新しい考え方を授けてくださいました。研究活動以外にも学生生活全般で本当に多くのアドバイス、教えを頂戴しました。競走部時代には選手として力のなかった私を見捨てずに見守り続けていただき、マネージャーに転身してからも熱く大きな愛を持って接していただきました。常に多くの言葉や姿勢、先生の背中私に多くのことを伝えていただき、人としてたくさんの勉強をさせていただいたと思っております。先生がいつも仰っていた「最後は人だぞ」というお言葉が深く胸に刺さっており、私の道標にもなっております。今年度いっぱい先生の下から旅立ちますが、先生から頂いた多くの教えを胸に、人として胸を張れるように今後も精進して参ります。どうか今後とも温かく、愛のあるご指導ご鞭撻のほど宜しくお願い申し上げます。

私にとって早稲田大学スポーツ科学部、スポーツ科学研究科で学んだ6年間は何事にも代えがたいものであると感じています。末筆ではありますが、この6年間でお世話になった多くの先生方にもこの場をお借りして感謝申し上げます。

最後に、私のわがままを許してくれて、自分の進みたい道を、といつも背中を押してくれた家族に感謝します。6年間苦しいことも多くありましたが、家族の存在、ただいまと言える場所を守ってくれたからこそ何とかやってこれました。ありがとう。

2021年1月8日 田村優