

平成 21 年度
順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科 修士論文

高校生期の陸上競技者における
年間を通しての体力変化に関する研究

スポーツ科学領域
スポーツ医科学分野
宮本 彩

論文指導教員 柳谷 登志雄准教授

合格年月日 平成 22 年 3 月 / 日

論文審査員 主査 佐久間和彦

副査 鈴木 勝彦

副査 柳谷 登志雄

目次

第1章 緒言	1
第2章 関連文献の考証.....	3
(1) 発育発達に伴う体力変化についての研究.....	3
(2) 疾走能力と体力との関係についての研究.....	4
(3) 疾走能力と疾走動作との関係についての研究	6
第3章 目的.....	8
第4章 年間を通しての体力の変化について.....	9
第1節 緒言	9
第2節 目的	9
第3節 方法.....	9
(1) 被験者	9
(2) 実験デザイン	10
(3) 運動プロトコル.....	10
(4) 体力の測定および分析.....	10
(5) 統計処理.....	13
第4節 結果	13
第5節 考察	14
第6節 結論	16
第5章 年間を通しての疾走動作の変化について.....	17
第1節 緒言	17
第2節 目的	17
第3節 方法	17
(1) 被験者	17
(2) 実験デザイン	17
(3) 運動プロトコル.....	17
(4) 疾走動作の撮影.....	17
(5) 疾走動作の分析.....	18
(6) 算出項目.....	18

(7) 統計処理.....	19
第4節 結果.....	19
第5節 考察.....	19
第6節 結論.....	21
第6章 総合論議.....	22
第7章 結論.....	23
第8章 要約.....	24
謝辞.....	26
引用文献一覧表.....	27
欧文要約.....	30
図表一覧.....	32

第1章 緒言

体力は、身体運動を実行しうる行動体力と外界からの刺激に対して適応する防衛体力に分けられ、そのなかでも行動体力は体格などを指す形態と筋力などを指す機能に細分されている¹³⁾(図1)。発育発達に伴う体力の変化を調査した研究において、高校生期は形態の発育が減少することにより、機能の発達が停滞することが示されている⁵⁾。年度毎の身長増加率でみると、男子では16歳になると1%以下という低水準を示すことが報告されている²³⁾。また、筋横断面積は年齢の増加に伴い有意に増加するものの、増加のピークは12歳から13歳であることを示している¹⁴⁾。体力における機能についても、筋力および運動パフォーマンスは身長の年間発育量の最大発育速度(PHV)の年齢から約1.5年後に増加のピークを迎えることが示されている⁵⁾。つまり、高校生期においては発育発達に伴う体力の変化がそれ以前に比べると小さいといえる。一方、トレーニングの効果を検討した研究では、16歳以降はそれ以前に比べて効果が高いことが示されている³⁾²⁵⁾。さらに、13歳以降では、スポーツ活動などによる強い運動刺激が体力の優劣により大きな開きをもたらす可能性が考えられることが示されている¹²⁾。このように、日常的な運動習慣の違いによる体力の差異が明らかにされているにも関わらず、これまでの研究において競技者を対象に体力の変化を調査したものは少ない。体力が停滞する高校生期の競技者における体力変化を明らかにすることは、発育発達に則したトレーニングプログラムの作成とその評価をする際に有用であると考えられる。そこで、本研究では陸上競技の短距離走種目あるいは跳躍種目を専門とする競技者(陸上競技者)を対象に体力の調査を行うこととした。

陸上競技者が高い競技パフォーマンスを発揮するためには、優れた体力が重要であることが明らかにされている。陸上競技者にとっては、疾走速度が競技パフォーマンスの1つの指標となる。これまでに疾走速度と体力との関係を検討した研究において、その競技特性から高い疾走速度を獲得するためには筋力ならびに筋パワーが重要であることが明らかにされている¹⁵⁾²¹⁾²⁹⁾³³⁾。また、スプリントトレーニングによって爆発的な脚の筋パワーが向上することが明らかにされている²⁰⁾。このことから、陸上競技者は日常的なトレーニングによって筋力や筋パワーが向上することが推察される。しかしながら、これまでの研究では、高校生期の陸上競技者における縦断的な体力の変化は明らかにされておらず、疾走能力の向上に起因する体力についてもわかっていない。

高い疾走速度を獲得するためには、優れた技術もまた重要であるとされ、優れた技術を検討するうえで、疾走速度の高い競技者における疾走動作の特徴が明らかにされている。その特徴として、身体重心の鉛直変位が小さく、滞空時の減速が小さいこと²²⁾や、キック動作時に膝関節の伸展動作を少なくし、股関節の伸展速度を効果的に脚全体のスイング速度に転換する合理的なキック動作を行う¹⁴⁾ことが示されている。一方で、斉藤ら²⁷⁾は6歳以後の疾走速度にもも上げ角度や引き付け角度など動作要因がほとんど影響しないことを示唆している。このように疾走速度の高い競技者の動作や疾走速度を高めるための疾走動作について検討されているものの、統一した見解が得られていない。そこで、本研究では疾走速度の変化に伴う疾走動作の変化を縦断的な調査により明らかにすることとした。このことは、疾走速度と疾走動作との関係を明らかにする上で新たな知見となり得ると考える。

このように、陸上競技者が高い競技パフォーマンスを発揮するためには、体力と技術のどちらも重要であると考えられている³²⁾。そのため、これまで疾走能力と体力との関係、あるいは疾走能力と疾走動作との関係を論じた研究の多くは、そのなかで体力と疾走動作との関係を考察している。しかしながら、両者の測定分析を同時に行い、その変化を検討した研究は少ない^{4) 19) 32)}。したがって、両者の変化を縦断的に調査し、その関係を明らかにすることは、競技パフォーマンスの向上を意図したトレーニングプログラムを作成する上でも有益な情報となりうると考える。さらに、これまで体力の変化について縦断的あるいは経年的に調査した研究の多くは、1年ごとの変化を捉えたものである。しかしながら、サッカー選手を対象に体力のシーズン変動を調査した研究において、シーズンを通して体力が変動することが明らかとなっている⁶⁾。また、国内一流レベルの女子スプリンターを対象にした研究においても、各トレーニング期(準備期と試合期)を通してパフォーマンスが変化し、それは形態的、体力的、動作的要因に複合的に影響を受けることが示唆されている⁴⁾。したがって、本研究においては、高校生期の陸上競技者における体力の変化を明らかにするにあたり、年間3回の測定を行い、年間を通しての体力の変化を調査することとした。高校生期の陸上競技者における年間を通しての体力の変化を明らかにすることは、これまで以上に詳細な体力の変化を捉えることができ、有意義であると考えられる。

第2章 関連文献の考証

(1) 発育発達に伴う体力変化についての研究

発育発達のステージのなかでも思春期から思春期後の体力変化については、いくつかの研究によって明らかにされている^{5) 9) 11) 18) 23) 26) 31)}。そのなかで、発育現象を理論的に把握しようとする立場から、身体の発育パターンに関する研究が行われている。身長の間年発育量の最大発育速度(PHV)の年齢は、日本人男子の場合では11.94歳であったことが、12年間の追跡調査の結果として報告されている⁹⁾。また、Beunen & Malina⁵⁾は、PHVの年齢を基準に思春期における発育スパートと体力の発達のタイミングを調査した。その結果、筋組織の思春期における発育スパートはPHVと同時期に生じることを示している。また、筋力や運動パフォーマンスの発達ではPHVの約1.5年後に増加が最大になることを示している。この結果から、PHVとほぼ同時期に筋重量が最も増加し、その後に筋力や運動パフォーマンスが増加することを明らかにしている。これらの文献により、筋力や運動パフォーマンスの発達に身長の変化といった形態の発育が密接に関係することが明らかにされている。

一般的に、筋力は筋断面積に比例するため、思春期の発育に伴う筋断面積の増加は筋力の発達を引き起こすと考えられる。Paasuke et al.²⁶⁾は発育発達に伴う随意筋力の増加について、底屈筋群の等尺性最大筋力は年齢に伴い有意に増加することを示している。そして、年齢の経過に伴う等尺性最大筋力の増加は、最大随意筋活動による運動単位の活動の増加が関連することを示唆している。また、Tonson et al.³¹⁾は発育発達による等尺性最大筋力と筋横断面積との関係への影響を検討した結果、等尺性最大筋力と筋横断面積は子どもから大人まで有意に増加することを示している。そして、筋により発揮される等尺性最大筋力は年齢に関係なく、筋横断面積に比例することを示唆している。これらの文献により、発育発達に伴う筋力の増加は、神経系の発達と筋横断面積の増加が要因であることが明らかにされている。

本研究で対象とした高校生期の発育発達に伴う体力の変化に着目すると、年度毎の身長の増加率は1%以下という低水準を示すことが報告されている²³⁾。一方、体肢組成については、筋および皮下脂肪面積ともに年齢の経過に伴い増加することが明らかにされている¹¹⁾。その他にも、運動パフォーマンスの変化として、加藤ら¹⁸⁾は疾走能力と無酸素パワーの発達について調査した結果、15歳から17歳にかけて50m走タイム、無

酸素パワー、垂直跳および立幅跳が向上することを明らかにしている。これらの文献から、高校生期では、身長はほぼ終了するものの、体肢組成および運動パフォーマンスについては発達することが明らかとなっている。

(2) 疾走能力と体力との関係についての研究

疾走はある場所から他へと身体をすばやく動かすもの²⁰⁾であり、この移動に要した時間や速度が定量され、疾走能力として評価されている。これまでの研究により、疾走能力には筋力や筋パワーが重要であることが明らかにされている。Mero et al.²¹⁾は、スプリンターを対象に最大疾走速度と筋線維組成、力発揮との関係を調査した。その結果、最大疾走速度は筋線維組成および最大筋力の発揮と高い相関関係があることを示している。そして、ドロップジャンプは最大疾走速度を予測する力発揮のテストとして最適であることを明らかにしている。また、Alexander²²⁾はエリートスプリンターにおける最大疾走速度と等速性関節トルクのピーク値との関係を調査した。その結果、最大疾走速度と膝関節伸展筋群における等速性関節トルクのピーク値との間に高い正の相関関係があることを示している。なかでも、高速度域での等速性関節トルクのピーク値はスプリントパフォーマンスにより近いことから、スプリントにおいて重要であることを明らかにしている。これらの文献により、筋線維組成や筋力は最大疾走速度を決定する要因の1つであることが明らかにされている。また、岩竹ら¹⁵⁾は、疾走中の筋活動様式が伸張-短縮サイクル(SSC)であることを考慮し、大学男子陸上競技者を対象にリバウンドジャンプによる発揮パワーとスプリント走における局面別の疾走速度との関係を検討した。その結果、リバウンドジャンプによる発揮パワーと加速局面ならびに速度維持局面における疾走速度との間に有意な正の相関関係が認められたことを示している。この結果から、スプリントパフォーマンスを規定する体力因子としてSSCによる発揮パワーの重要性を示唆している。一方で、Farrar & Thorland⁷⁾は男子大学生を対象に最大疾走速度と等速性関節トルクとの関係を検討した結果、有意な相関関係が認められないことを示している。この結果の相違は、被験者が専門的にトレーニングを行っている競技者であるか否かが関係していると考えられる。これら文献により、陸上競技者が高い疾走速度を獲得するためには、筋力および筋パワーが重要であることが明らかにされている。

スプリント走は速度-時間曲線を基に加速、速度維持および減速の3つの局面に分けられ、それぞれの局面によって要求される体力が異なることも明らかにされている^{22) 29)}

30) 33)。Young et al. 33)は 16 歳から 18 歳の国内トップレベルの男女陸上競技者を対象に、スプリントパフォーマンスのスタート局面ならびに最大スピード局面と様々な収縮様式(短縮性, SSC および等尺性収縮)で測定された力発揮特性との関係を検討した。その結果、力発揮特性は 2.5m を疾走するのに要した時間(スタート)および最大スピードと有意な相関関係であることを示している。そして、スタートを予測する変数として、負荷を加えたスクワット姿勢から跳躍動作を行かせた際の離地中の体重あたりの最大地面反力が最適であることを明らかにしている。また、最大スピードを予測する変数として、負荷を加えたスクワット姿勢から跳躍動作を行かせた際の動作開始から 100msec までの体重あたりの最大地面反力が最適であることを明らかにしている。Smirniotou et al. 29)は若い男性スプリンターを対象にトレーニング現場において力-パワーパフォーマンスの指標として行われる垂直跳びテストと、100m 疾走中の 10m, 30m, 60m および 100m の疾走時間との関係を検討した。その結果、反動を伴わない垂直跳び(SJ)と反動を伴う垂直跳び(CMJ)の跳躍高のどちらもスプリントパフォーマンスを予測するために適した因子であることを明らかにしている。ただし、100m 疾走の後半では、SJ および CMJ との関係性が低くなり、代わって DJ の跳躍高を接地時間で除すことにより算出した Reaction strength の指標との関係性が高くなることを明らかにしている。これらの文献により、疾走能力と体力との関係はスプリント走の局面によって異なることが明らかにされている。さらに、100m 走中の区間速度に対する体力要素の相対的貢献度についての検討もなされている。高橋ら 30)は、大学短距離選手を対象に、100m 走中の区間速度に対するパワー、筋力、筋持久力の相対的貢献度を算出し、区間速度と体力要因との関係を調査した。その結果、100m 走タイムに対する体力要因では、股関節筋力が最も高い貢献度を示し、ついでパワー、筋持久力の順で貢献度が高いことを示している。股関節筋力のなかでも、比較的重い抵抗に対して強い力を発揮する筋力(運動速度 60deg/s と 180deg/s)が 100m 走タイムや区間速度に対して高い貢献度を示すことを明らかにしている。また、パワーはどの区間速度に対しても説明変数として選択されたことから、100m 走全般の速度発揮に対して比較的高い割合で有意に関わる体力要因であると考察している。

このように、スプリントの局面によって要求される体力に相違があるものの、高い疾走速度を獲得するためには、筋力ならびに筋パワーが特に重要であるといえる。これは、全力疾走における接地中の地面反力の鉛直方向のピーク値が体重の 5 倍以上を示すこ

と²²⁾からも、その重要性が支持されている。

疾走能力は数多くのスポーツ競技で重要な能力とされ、トレーニングとして取り入れることも多い。そのため、スプリント走トレーニングの効果についても研究が行われている⁸⁾²⁰⁾。Markovic et al.²⁰⁾は、10週間にわたり週3回のスプリント走トレーニングを行った結果、等尺性筋力、SJ、CMJ、DJ、立幅跳およびスプリント走が有意に向上することを示している。そして、このトレーニング効果はプライオメトリックトレーニングよりも高いことを明らかにしている。また、スプリント走トレーニングにおける骨格筋の適応についてFournier et al.⁸⁾は、16歳から17歳を対象に3ヶ月にわたり週4回のスプリントトレーニングを行い、調査した。その結果、筋線維面積ならびに筋線維組成は変化がないことを示している。これらの文献により、スプリント走トレーニングの効果として、筋力および筋パワーが向上することが明らかにされている。

(3) 疾走能力と疾走動作との関係についての研究

一般的に疾走動作は技術的要素として扱われ、体力的要素と並んで疾走能力に重要な要素であると考えられている³²⁾。そのため、これまで疾走能力と疾走動作との関係が検討されている⁴⁾¹⁴⁾²²⁾²⁷⁾。スプリント走における速度維持局面の疾走速度と疾走動作についてMero & Komi²²⁾は、男性スプリンターではストライド長よりもピッチの方が重要な役割を果たすことを明らかにしている。さらに、疾走速度の高い競技者は身体重心の鉛直変位が小さく、滞空時の減速が小さいことを示している。伊藤ら¹⁴⁾はより高い疾走速度を得るために必要とされる疾走動作の特徴を明らかにすることを目的に、アジアおよび日本一流選手から大学レベルまでの短距離選手を対象に調査した。その結果、疾走速度の高い競技者は脚全体のスイング速度が高いことを示した。そして、キック動作時には膝関節の伸展動作を少なくすることにより、股関節の伸展速度を効果的に脚全体のスイング速度に転換する合理的なキック動作を行うことを示唆している。さらに、新井ら⁴⁾は国内一流レベルの女子スプリンターにおけるトレーニング経過にともなう疾走動作の変化を調査した。その結果、伊藤ら¹⁴⁾が明らかにした合理的なキック動作の特徴を示したことを報告している。すなわち、最も高い疾走速度を示した測定では、接地してから膝関節は屈曲し、最小角度を保ったまま離地するという動作上の特徴を示している。そして、この動作は疾走能力に影響を及ぼす重要な要因であり、技術練習を通して習得できるものであることを示唆している。

一方、疾走動作は疾走能力に影響を及ぼさないとする研究もある²⁷⁾。斉藤ら²⁷⁾は2

歳児から世界一流選手までを対象に、疾走速度、歩幅、歩数および疾走動作を調べた。その結果、6歳以降のもも上げ角度や引きつけ角度は専門的な短距離走のトレーニングを積んできた短距離選手とほとんど同じであり、そのばらつきの大きさも同程度であることを示している。そして、この結果から、これらの動作要因が6歳以後の疾走速度にほとんど影響しないことを示唆している。

このように疾走速度の高い競技者の動作や疾走速度を高めるための疾走動作について検討されているものの、統一した見解が得られていない。

第3章 目的

関連文献の考証に示した通り、高校生期は形態の発育が減少することにより、それ以前に比べると筋量の増加や機能の発達が停滞することが明らかにされている。しかしながら、これまでの研究は一般生徒を対象にしており、陸上競技者の体力の変化は明らかになっていない。また、陸上競技者が高い疾走速度を獲得するためには、筋力と筋パワーの重要性が明らかにされているほか、技術の重要性についても指摘されている。しかしながら、その両者の変化を縦断的に調査した研究は数少ない。

そこで、本研究では、高校生期の陸上競技者における年間を通しての体力および疾走動作の変化を明らかにし、疾走能力に影響を及ぼす要因を解明することを目的とした。

なお、この目的を遂行するにあたり、本論文では第4章で年間を通しての体力の変化を明らかにすることで、体力の変化が疾走能力に及ぼす影響について検討する。第5章では、年間を通しての疾走動作の変化を明らかにすることで、疾走動作の変化が疾走能力に及ぼす影響について検討する。

第4章 年間を通しての体力の変化について

第1節 緒言

高校生期は、形態の発育が減少することにより、それ以前に比べると機能の発達が停滞することが明らかにされている⁵⁾。一方、トレーニングの効果を検討した研究では、16歳以降はそれ以前に比べて効果が高いことが示されている^{3) 25)}。さらに、13歳以降では、スポーツ活動などによる強い運動刺激が体力の優劣により大きな開きをもたらす可能性が考えられることが示されている¹²⁾。このように、日常的な運動習慣の違いによる体力の差異が明らかにされているにも関わらず、これまでの研究において競技者を対象に体力の変化を調査したものは少ない。そこで、本研究では高校生期の陸上競技者を対象に体力の調査を行うこととした。

陸上競技者が高い競技パフォーマンスを発揮するためには、優れた体力が重要であり、なかでも、筋力ならびに筋パワーが重要であることが明らかにされている^{15) 21) 29) 33)}。また、スプリントトレーニングによって爆発的な脚の筋パワーが向上することが明らかにされている²⁰⁾。このことから、陸上競技者は日常的なトレーニングによって筋力や筋パワーが向上することが推察される。しかしながら、これまでの研究においては高校生期の陸上競技者における縦断的な体力の変化は明らかにされておらず、疾走能力の向上に起因する体力についても明らかにされていない。そこで、本研究では疾走能力、筋力および筋パワーに着目し、これらの縦断的な変化を調査するとともに、体力の変化が疾走能力に及ぼす影響を解明することとした。

第2節 目的

本章では、高校生期の陸上競技者における年間を通しての体力の変化を明らかにし、体力の変化が疾走能力に及ぼす影響をについて解明することを目的とした。

第3節 方法

(1) 被験者

被験者は、高等学校の陸上競技部に所属し短距離種目あるいは跳躍種目を専門にトレーニングを行っている男子高校生25名を対象に行い、そのうちの11名(A校7名、B校4名)が年間3回の測定すべてに参加した(表1)。なお、参加校は2校ともに個人種目あるいはリレー種目において2008年度全国高等学校総合体育大会に出場した。

実験実施に先立ち、被験者および顧問教諭に対して研究の目的、意義、方法および参加に際しての危険性や個人情報保護に関する事項などに関する説明を、口頭および文書にて十分に行った。そして、被験者本人および顧問教諭から書面にて参加の同意を得た。実験で得られたデータは、個人情報を考慮して取り扱った。なお、本研究は順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科における倫理委員会により認可(院 21-5 号)を受けたうえで実施された。

(2) 実験デザイン

本研究は高校生短距離競技者を対象として、一年間にわたり縦断的な追跡調査を行った。調査内容として、疾走能力および体力の測定を行った。なお、測定は、陸上競技のトラックシーズンを基準にシーズン前(2008年3月)、シーズン中(2008年8月)およびシーズン後(2008年12月)に実施した。測定の期間中はトレーニングの制限を設けず、通常通りのトレーニングを行った。

(3) 運動プロトコル

100mの全力疾走、5種類のジャンプ、100mバウンディング、メディシンボール投げおよび単関節の関節トルク発揮を行った。なお、本研究では競技パフォーマンスの指標として100mの全力疾走を行い、疾走中の最大疾走速度を疾走能力とした。さらに、体力における機能を評価するために5種類のジャンプ、100mバウンディング、メディシンボール投げおよび単関節の関節トルクの測定をした。そのなかでも、単関節の関節トルクは筋力を、5種類のジャンプ、100mバウンディングおよびメディシンボール投げはパワー(筋力×速度)の指標とした。

100m疾走および100mバウンディングは被験者の疲労を考慮し、いずれも1回のみ測定した。また、5種類のジャンプ、メディシンボール投げおよび単関節の関節トルクは各試技2回行い、いずれも最大値を測定値として採用した。測定は無作為に順不同で実施し、十分にウォーミングアップと測定試技の練習を行った後に行った。

(4) 体力の測定および分析

a)100mの全力疾走:試技は、全天候型陸上競技場の直線走路にて行った。その際、被験者は競技会と同様に、スタートブロックからクラウチングスタートの姿勢で、スターターの号砲に合わせて疾走を開始した。なお、全ての被験者がスパイクシューズを着用して疾走を行った。なお、向風の条件を避けて測定を行った。

100m疾走に要した時間(100mタイム)は、ゴールライン側方からビデオカメラ

(DCR-TRV10, ソニー社製)を用いて毎秒 30 コマで撮影し、スタート開始の号砲から被験者のトルソーがゴールラインに到達するまでのコマ数より算出した。

疾走速度は、被験者の後方からレーザードップラー式速度測定装置 (Laveg Sports, Jenoptic 社製)を用いて、サンプリング周波数 100Hz で測定された。そして、得られた速度を 201 点の移動平均を施し、疾走時の最大値を最大疾走速度(Vmax)とした。

b)5 種類のジャンプ: 5 種類のジャンプの測定は、マルチジャンプテスト(IFS-31D, ディケイエイチ社製)を用いてジャンプ時の滞空時間を計測し、以下の式を用いてジャンプ高を算出した。

$$\text{ジャンプ高} = \frac{1}{8}gt^2$$

なお、g は重力加速度とし、t はジャンプ中の滞空時間を表す。

反動なしのジャンプ(SQJ)では、被験者は膝関節角度 90 度の姿勢から反動を伴わず鉛直方向にジャンプした。反動ありのジャンプ(CMJ)では、被験者は直立姿勢から脚による反動を伴い鉛直方向にジャンプした。台高 30cm, 40cm と 50cm からのドロップジャンプ(DJ30, DJ40 と DJ50)では、被験者はそれぞれの台高から落下し、着地とともにすばやく鉛直方向へジャンプした。いずれのジャンプにおいても、腕の反動動作を利用しないように、腰に手を当てた姿勢で行った。なお、SQJ で反動が見られた場合や DJ30, DJ40 と DJ50 で接地時間が 0.3 秒以上であった場合は、正しく試技が遂行されなかったと考え、無効試技とした。これは、リバウンドジャンプの接地時間は約 0.2 秒であるとする報告³⁴⁾に従い設定した。

。

c)100m バウンディング: 100m バウンディング(100mBD)の測定は全天候型陸上競技場の直線走路にて行った。その際、被験者はランニングシューズを着用した。試技に先立ち、被験者には 100m をできるだけ少ない歩数でゴールすることを教示した。

100mBD の値は、両足直立姿勢でスタートラインに立ち、両腕の腕振りを伴いながらスタートしてから 100m のゴールラインを踏み越えるまでに要した歩数とした。歩数は、ゴール側方からビデオカメラ(DCR-TRV10, ソニー社製)を用いて毎秒 30 コマで撮影された映像により確認された。

d)メディシンボール投げ: メディシンボール投げの測定は重量 4kg のメディシンボール(SC000404, Cramer 社製)を用いて前投げ(MBF)と後投げ(MBB)の投距離を計測し

た。その際、被験者は計測ラインよりも手前から、両手でメディシンボールを持ち投球を行った。

投距離の測定は、計測者が目視にて落下地点を判断し、落下地点と計測ラインを直線に結んだ距離とし、距離は 5cm 単位で計測された。なお、ボールが手から離れる前に足が計測ラインを踏んだ場合やボールが手から離れる前に両足が地面から離れた場合は無効試技とし、再度試技を実施した。

e)単関節の関節トルク：膝関節伸展トルク(KE)および屈曲トルク(KF)の測定には等尺性トルクメータ(VTK-001R,株式会社 VINE 社製)を用い、椅座位にて等尺性最大随意時のトルクを計測した(図 2)。この際の関節角度は膝関節および股関節角度ともに 90 度であった。なお、本研究ではいずれの関節角度も伸展位置を 0 度とした。被験者の膝関節中心をトルクメータの回転軸に合わせ、アタッチメントのパッドに下腿部を固定した。

足関節底屈トルク(PF)および背屈トルク(DF)の測定は、等尺性トルクメータ(VTA001,株式会社 VINE 社製)を用い、長座位にて等尺性最大随意時のトルクを計測した(図 3)。この際の股関節角度は 90 度とした。また、足関節角度は、PF の測定では足関節角度 90 度で、DF の測定では足関節角度 110 度で行った。なお、本研究では解剖学的正位を足関節 90 度とした。被験者の足関節中心とトルクメータのアタッチメントの回転軸を合わせ、アタッチメントに足部を固定した。

いずれの測定も急激に力を発揮せず、徐々に力を発揮し、最大努力での力発揮を約 3 秒間維持するように指示した。本研究では右脚についてのみ実施した。

f)体肢組成：体力における形態の指標として、体肢組成を計測した。計測項目は身長、体重、体肢長、周径囲、皮下脂肪厚および筋厚とした。

体肢長および周径囲は前腕部、上腕部、大腿部および下腿部について布製の巻尺を用いて 0.5cm 単位で計測した。

皮下脂肪厚および筋厚は超音波法により、超音波診断装置(SSD-900, Aloka 社製)を用いて全身 9 ヶ所の横断画像を撮像した。撮影部位は、前腕部(前腕長の近位 30%)、上腕前部(上腕長の近位 60%)、上腕後部(上腕長の近位 60%)、大腿前部(大腿長の近位 50%)、大腿後部(大腿長の近位 50%)、下腿前部(下腿長の近位 30%)、下腿後部(下腿長の近位 30%)、背部(肩甲骨下端)および腹部(へそ下)とした。撮影時の超音波の発振周波数は 5MHz であった。なお、撮像時の姿勢は立位であり、右肢についてのみ実施した。得ら

れた超音波画像に基づき、皮下脂肪厚は表皮から皮下脂肪組織と筋組織との境界までの距離、筋厚は皮下脂肪組織と筋組織との境界から筋組織と骨組織の境界までの距離とした。皮下脂肪厚と筋厚は定規を用いて 0.5mm 単位で計測し、実長換算した。

(5) 統計処理

本研究で用いた変数は、全て平均値±標準偏差で示した。各変数の縦断的な差の検定として、一元配置分散分析を行い、F 値に有意差が認められた変数について Tukey の posthoc test を行った。また、各変数間の相関関係を明らかにするために、ピアソンの相関係数の検定を実施した。いずれの検定においても、有意水準は 5%とした。

第 4 節 結果

各測定時における疾走能力および体力における機能の指標についての結果を表 2 に示した。疾走能力については、100m タイムはシーズン前(12.06±0.27sec.)と比べてシーズン中(11.74±0.31sec.)で短縮し、Vmax もシーズン前(9.38±0.23m/sec.)と比べてシーズン中(9.66±0.32m/sec.)の方が高値を示し、測定間で有意な差が認められた。体力における機能の指標については、膝関節伸展トルクおよび膝関節屈曲トルクがシーズン前(145.28±32.29Nm, 88.75±15.56Nm)と比べてシーズン中(179.58±33.48Nm, 115.74±15.15Nm)およびシーズン後(178.82±21.35Nm, 125.97±20.45Nm)の方が高値を示し、測定間で有意な差が認められた。その他については、測定間で有意な差が認められなかった。

各測定時における体力における形態の指標についての結果を表 3 に示した。身長、体重、体肢長、周径囲および皮下脂肪厚は各測定間で有意な差が認められなかった。筋厚については、前腕部でシーズン前(21.4±2.0mm)およびシーズン中(21.6±1.5mm)と比べてシーズン後(23.5±1.5mm)の方が高い値を示し、有意な差が認められた。上腕後部でシーズン前(29.7±2.2mm)と比べてシーズン中(33.3±3.3mm)の方が高値を示し、シーズン中と比べてシーズン後(29.9±3.2mm)の方が低値を示し、有意な差が認められた。

シーズン前からシーズン中までの最大疾走速度の変化量とその他の変数の変化量との関係は、いずれの変数においても有意な相関関係が認められなかった(表 5)。しかし、膝関節屈曲トルクは、1名を除く被験者で最大疾走速度の増加に伴い増加を示した。

第5節 考察

本章では、高校生の陸上競技者における年間を通しての体力の変化を検討した。その結果、疾走能力はシーズン中に向上することが明らかとなった。特に V_{max} については、被験者全員がシーズン前と比べてシーズン中に向上した。また、体力における機能の指標については、膝関節伸展トルクと膝関節屈曲トルクのみ有意な変化が認められ、シーズン前と比較してシーズン中とシーズン後に向上することが明らかとなった。体力における形態の指標については、前腕部および上腕後部の筋厚に変化が認められたものの、それ以外の測定項目で変化が認められなかった。このことから、高校生期の陸上競技者における年間を通しての体力の変化として、形態は変化せず、機能は膝関節トルクのみ向上することが明らかとなった。

本研究の結果、身長や体肢長は年間を通して変化しなかった。このことは、多くの先行研究の結果を支持するものであった。男子では16歳になると年度毎の身長の増加率が1%以下という低水準を示すことが報告されている²³⁾。このことから、本研究で対象とした高校生期の陸上競技者は、形態的な発育がほぼ終了していると考えられる。また、本研究の結果では筋厚においても年間を通して変化が認められなかった。このことは、18歳ごろまでは筋横断面積が増加するという先行研究の結果¹¹⁾や、本研究の被験者がトレーニングを実施していることを踏まえると考えがたい結果であった。一方、本研究では膝関節トルクはシーズン前と比較してシーズン中とシーズン後に有意に増加した。大腿部の筋厚が増加しなかったにも関わらず、膝関節トルクが増加したことから、筋量に対する発揮筋力が増加することが示唆された。Tonson et al.³⁰⁾ は、発育発達による等尺性最大筋力と筋横断面積との関係への影響を検討した結果、定期的にトレーニングを行っていない被験者の場合には、筋量に対する発揮筋力は変化しないことを明らかにしている。一方、Narici et al.²⁴⁾ は、成人男性に6ヶ月の筋力トレーニングを実施した結果、トレーニング後に筋量に対する発揮筋力が有意に向上することを明らかにしている。そして、この向上の要因として、拮抗筋の活動が低下することを示唆している²⁴⁾。これらのことから、本研究の被験者は日常的なトレーニングによって拮抗筋の活動が低下したため、筋厚が増加しなかったにも関わらず膝関節トルクが増加したことが推察できる。

本研究で明らかとなった高校生期の陸上競技者における年間を通しての疾走能力の変化は、新井ら⁴⁾の国内一流レベルの女子スプリンター2名を対象に追跡調査を行った

調査結果と同様の傾向を示した。すなわち、疾走速度は準備期後(3月)において低下し、試合期(8月)において向上するという変化を示している。このことから、本研究の結果で示された年間を通しての疾走能力の変化は、高校生期の陸上競技者に限らず、陸上競技者における一般的な変化であることが推察された。また、陸上競技者はシーズン中に疾走能力が最も高いことが明らかとなった。このような疾走能力の変化を示す要因として、トレーニング課題および内容が測定間で異なることが考えられる。新井ら⁴⁾はトレーニング経過として、準備期では100mから500mのスピードの比較的低いテンポ走が中心であったのに対して、試合期では30mから60mのダッシュや加速走が中心であったと記している。そして、各トレーニング期を通してパフォーマンスが変化することを明らかにしている。本研究では、トレーニング内容に関する調査を実施していないため、このことについて詳細に考察することができない。しかしながら、先行研究から類推すると、測定間でトレーニング課題および内容が異なることが、疾走能力の変化に影響していると考えられる。

本研究の結果から、疾走能力に影響を及ぼす要因として膝関節の筋力の向上が示唆された。これは、膝関節伸展トルクおよび膝関節屈曲トルクが疾走能力と同様にシーズン前と比較してシーズン中に向上したためである。特に、膝関節屈曲トルクは被験者全員がシーズン前と比較してシーズン中に増加したことから、疾走能力に影響を及ぼす要因であると考えた。これまで多くの研究が、疾走能力に膝関節筋力が重要であることを明らかにしている。例えば、12歳から15歳までのジュニアスプリンターの縦断的研究では、疾走速度の増加量と等速性脚筋力における屈曲力の増加量との間に有意な正の相関関係があることを示している。そして、ジュニアスプリンターの疾走速度の発達はおもに大腿部後面の筋肉の発達が影響することを示唆している¹⁹⁾。また、阿江ら¹⁾は、機械的パワーから疾走における下肢筋群の機能および貢献度を検討した結果、疾走速度を増加させるとともに屈筋群の屈曲方向のパワーおよび仕事が増加することを示している。そして、大きなスピードで疾走するには、膝伸展筋群よりも屈筋群のほうが重要になることを示唆している。これらのことから、高校生期の陸上競技者における疾走能力の向上に、膝関節屈曲トルクの増加が影響を及ぼすことが推察された。一方で、筋パワーの指標であるジャンプ種目やメディシンボール投げは、年間を通して変化が認められず、疾走速度の変化量との間にも有意な相関関係が認められなかった。このことは、先行研究の結果^{15) 21) 29) 30)}と異なるものであった。このことから、疾走能力が高い陸上競

技者の体力の特徴として、筋パワーが高いことが挙げられるものの、疾走能力の向上に伴い筋パワーが向上するわけではないと考えられた。

第6節 結論

高校生期の陸上競技者における年間を通しての体力の変化として、形態は変化しなかった。また、疾走能力がシーズン中に向上し、膝関節トルクがシーズン以降に向上することが明らかとなった。また、膝関節屈曲トルクの増加が疾走能力の向上に関係していることが示唆された。

第5章 年間を通しての疾走動作の変化について

第1節 緒言

陸上競技者が高いパフォーマンスを発揮する上で技術的要素である疾走動作もまた重要であろう。これまで疾走速度の高い競技者の動作の特徴が示されているが、疾走速度と疾走動作との関係については統一した見解が得られていない^{4) 14) 22) 27)}。そのため、縦断研究により疾走速度の向上に伴う疾走動作の変化を明らかにすることは、疾走速度と疾走動作との関係を明らかにする上で新たな知見となり得ると考える。

第2節 目的

本章では、高校生期の陸上競技者における疾走動作の年間を通しての変化を明らかにし、疾走動作の変化が疾走能力に及ぼす影響について解明することを目的とした。

第3節 方法

(1) 被験者

被験者は、第4章の第3節の(1)被験者と同様であった。

(2) 実験デザイン

本研究は高校生短距離競技者を対象として、一年間にわたり縦断的な追跡調査を行った。調査内容として、疾走動作の記録を行った。記録を実施した期間は、第4章の第3節の(2)実験デザインと同様であった。

(3) 運動プロトコル

十分にウォーミングアップを行った後に100mの全力疾走を1回実施した。試技は、全天候型陸上競技場の直線走路にて行った。その際、被験者は競技会と同様に、スパイクシューズを着用し、スタートブロックからクラウチングスタートの姿勢で、スターターの号砲に合わせて疾走を開始した。

(4) 疾走動作の撮影

疾走動作の撮影：疾走中の動作は、50m地点の走路側方から高速度ビデオカメラ(VFC-1000, FOR-A社製)を用いて毎秒250コマ、露出時間1/500秒で撮影された。撮影範囲は50m地点の前後4mとし、疾走中の4歩が入るように設定した。試技撮影直後にS端子を経由してデジタルビデオレコーダ(GVD-1000, Sony社製)を用いてデジ

タルビデオテープに録画した。映像画角における二次元座標の校正は、高さ 1.8m、反射マーカを 0.45m 毎に貼付された木の板を測定範囲に垂直に立たせ、1m 毎に実施した。

(5) 疾走動作の分析

撮影した映像をコンピュータ()に取り込み、コンピュータソフトウェア(Frame-DIAS II for Windows Version3, DKH 社製)を用いて、身体分析点 11 点(頭頂, 耳珠点, 肩峰, 肘関節中心, 手関節中心, 第三中指節関節, 大転子点, 膝関節中心, 足関節中心, 踵骨隆起, つま先)をデジタル化した。分析は左足が接地してから再び同足が接地するまでの 1 ランニングサイクル(2 歩分)について行った。

二次元座標の算出には二次元 DLT 法を用い、得られた各身体分析点の座標は校正による相対座標から実長換算した。そして、得られた各身体分析点の二次元座標をデジタルフィルタ(Bryant, 遮断周波数=6Hz)を用いて平滑化した。

(6) 算出項目

a)重心最大速度:分析を行った 1 ランニングサイクルにおける身体重心を阿江ら(1992)の身体部分慣性係数を用いて求めた。そして、重心の移動距離と時間から重心速度を算出し、その最大値を最大重心速度とした。

b)ピッチおよびストライド長:ピッチは 1 歩に要した時間を求め、その逆数とした。ストライド長は接地から逆足の接地までのつま先間の距離とした。ピッチおよびストライド長のいずれも 2 歩分(左足-右足と右足-左足)の平均値を測定値として採用した。

c)関節角度および関節角速度:本研究における関節角度定義は、伊藤ら 13)が用いている項目を参考に算出した(図 1 参照)。なお、本研究では、分析の対象とした左脚が地面に接地している局面を接地期とし、地面から離れている局面を遊脚期とした。

接地期は、膝関節中心と大転子点の結線と膝関節中心と足関節中心の結線のなす角度を膝関節角度とし、膝関節中心と大転子点の結線と鉛直線のなす角度を股関節角度とした。そして、接地時および離地時における膝関節および股関節の角度を求めた。さらに、接地期中の膝関節および股関節の角度変位を算出した。

遊脚期においては、膝関節中心と大転子点の結線と鉛直線のなす角度の最大値をもも上げ角度とし、膝関節中心と大転子点の結線と膝関節中心と足関節中心の結線のなす角度の最小値を引き付け角度とした。さらに、脚の振り出し動作中の脚全体(大転子点と足関節中心の結線)と鉛直線のなす角度の最大値を振り出し角度とした。求めた角度における角速度の最大値(もも上げ角速度, 引き付け角速度および振り出し角速度)を算出した。

(7) 統計処理

統計は、第4章の第3節の(5)統計処理と同様の検定を行った。

第4節 結果

各測定時における100m全力疾走中の角度、角度変位および角速度を表4に示した。最大重心速度はシーズン前($10.06 \pm 0.26\text{m/sec.}$)と比べてシーズン中($10.49 \pm 0.37\text{m/sec.}$)の方が高値を示し、測定間で有意な差が認められた。また、ストライド長およびもも上げ角度はシーズン前($2.07 \pm 0.06\text{m}$, $64.3 \pm 4.7\text{deg.}$)と比べてシーズン中($2.18 \pm 0.11\text{m}$, $69.1 \pm 4.2\text{deg.}$)の方が高値を示し、測定間で有意な差が認められた。さらに、振り出し角速度は、シーズン前($722.6 \pm 79.3\text{deg./sec.}$)とシーズン後($714.2 \pm 73.5\text{deg./sec.}$)に比べてシーズン中で高値を示し、測定間で有意な差が認められた。一方、その他の関節角度、角速度およびピッチについては全ての測定間で有意な差が認められなかった。

シーズン中からシーズン前までの最大重心速度の変化量とその他の変数の変化量との関係をみると、ストライド長の変化量と有意な正の相関関係が認められた(表5)。さらに、ストライド長の変化量と振り出し角速度との間に有意な正の相関関係が認められた(表5)。

第5節 考察

本章では、高校生の陸上競技者における年間を通しての疾走動作の変化を検討した。その結果、シーズン中にストライド長が増加することが明らかとなった。また、最大重心速度の変化量とストライド長の変化量との間には有意な正の相関関係が認められ、最大重心速度の向上に伴いストライド長が増加することが明らかとなった。さらに、年間を通しての関節角度および角速度の変化をみると、もも上げ角度および振り出し角速度がシーズン中に有意に高値を示すことが明らかとなった。これらのことから、高校生期の陸上競技者における疾走動作は、年間を通して変化することがわかった。そして、ストライド長の増加が疾走速度の向上に影響を及ぼすことが示唆された。

ストライド長と疾走速度との関係については、これまで統一した見解が得られていない。加藤ら¹⁸⁾は、年齢に伴う疾走速度の向上の要因として、幼児から中学生までは下肢長の増加に伴うストライド長の増加が要因であるのに対して、男子高校生ではピッチ

の増加が要因であることを示している。男性スプリンターにおいても、最大疾走時ではストライド長よりもピッチの方が重要な役割を果たすことが示唆されている²²⁾。一方、伊藤ら¹⁴⁾はストライド長と疾走速度との間には有意な正の相関関係が認められることを示している。さらに、志賀ら²⁸⁾は男子大学陸上競技者 1 名を対象に、短期的なトレーニング期間における疾走能力および疾走動作の縦断的な変化を調査した結果、速度増加に伴ってストライド長が大きく向上することを報告している。本研究では最大重心速度の変化量とストライド長の変化量との間には有意な正の相関関係が認められたことから、伊藤ら¹⁴⁾と志賀ら²⁸⁾の結果を支持する結果であった。つまり、ストライド長が増加することによって最大重心速度が向上することが示唆された。

疾走速度と関節角度および角速度との関係については、伊藤ら¹⁴⁾がもも上げ角度と振り出し角度は疾走速度との間に有意な相関関係はなく、引き付け角度は疾走速度と有意な正の相関関係であることを示している。さらに、接地局面における脚全体の最大スイング速度および離地時の股関節角度が疾走速度と有意な正の相関関係がある一方、膝関節の最大伸展速度は有意な負の相関関係があることを示している。そして、これらの結果から、疾走速度の高い競技者ほど脚全体のスイング速度が高いことを明らかにしている。また、キック動作時に膝関節の伸展動作を少なくし、股関節の伸展速度を効果的に脚全体のスイング速度に転換する合理的なキック動作を行うことを示唆している。さらに、トレーニング経過に伴う疾走動作の変化として、新井らは接地中にキック脚の膝関節が屈曲していく動作を挙げ、伊藤らが合理的としたキック動作へと変化したことを報告している。また、志賀らも接地前半部分で股関節および脚全体のスイング速度が高くなることを示し、伊藤らの結果を支持している。しかしながら、本研究においては、先行研究で示されたような合理的なキック動作への変化は見られなかった。また、疾走速度が向上する際に、もも上げ角度が大きくなり、振り出し角速度が高まるという動作の特徴が見られたものの、疾走速度の向上に直接関係するものではないことが明らかとなった。このことは、加藤ら¹⁹⁾の結果を支持するものであった。ただし、本研究の結果において、ストライド長と振り出し角速度との間に有意な正の相関関係が認められたことから、振り出し角速度の増加はストライド長の増加を介し、疾走速度の向上にプラスの影響を及ぼす可能性が示唆された。

第6節 結論

高校生期の陸上競技者における年間を通しての疾走動作の変化として、シーズン中にストライド長、もも上げ角度および振り出し角速度が高値を示すことが明らかとなった。さらに、ストライド長の増加が疾走能力の向上に関係していることが示唆された。

第6章 総合論議

本研究は、高校生期の陸上競技者における年間を通しての体力および疾走動作の変化を明らかにし、疾走能力に影響を及ぼす要因を解明することを目的とした。その結果、形態には年間を通しての変化がほとんど見られなかった。一方、疾走能力と膝関節トルクのみシーズン前と比較してシーズン中とシーズン後に有意に向上することが明らかとなった。膝関節筋力と疾走速度との関係を検討した研究は数多く、その重要性が明らかにされている。なかでも、膝関節屈曲筋力および大腿部後面の筋肉の発達が発走速度の増加に重要であることが示唆されている¹⁾¹⁹⁾。本研究においては、最大疾走速度の変化量と膝関節屈曲トルクの変化量との間に相関関係が認められなかったが、被験者全員が疾走速度の向上と同時期に膝関節屈曲トルクも向上していることから、両者の間に関係があることが示唆された。また、疾走動作においても、年間を通して変化することが明らかとなった。すなわち、シーズン前と比較してシーズン中にストライド長、もも上げ角度および振り出し角速度が高値を示した。なかでも、ストライド長の増加は疾走能力の変化に伴い増加することが明らかとなった。これらのことから、高校生期の陸上競技者は年間を通して体力も疾走動作も変化することが明らかとなった。

体力と疾走動作との関係について、渡邊ら³²⁾は速く走るために必要な技術を獲得するには、あるレベルの体力を有していることが条件になると考え、疾走速度、疾走動作と筋力の相互関係を検討している。その結果、回復期の股関節や支持期の膝関節および足関節におけるトルクを発揮することと、それに引き続き生じる動作には、等速性最大筋力が大きく関わることを明らかにしている。この研究により、疾走動作に体力が影響を及ぼすことが示唆されている。本研究の結果においても、疾走動作の変化に体力の変化が関係することが示唆された。すなわち、ストライド長の増加の一因として、等尺性の膝関節トルクの増加が影響していることが示唆された。ストライド長の増加について、斉藤ら²⁷⁾は機能的な発達(脚筋力や脚筋パワーの増加)がストライド長を増加させることを示唆している。また、岩竹ら¹⁷⁾は高校生を対象にスプリントの向上を目的に週1回のジャンプトレーニングを実施した結果、短時間に大きな力を発揮する脚の筋機能が高まり、推進力が増大することによりストライド長が増加すると推察している。これらのことから、ストライド長の増加に筋力の向上が影響を及ぼすことが示唆された。

第7章 結論

高校生期の陸上競技者における年間を通して体力変化を調査した結果、形態は変化せず、機能は膝関節トルクのみシーズン前よりも向上することが明らかとなった。また、疾走動作についても年間を通して変化することが明らかとなった。

さらに、高校生期の陸上競技者における疾走能力に影響を及ぼす要因として、膝関節トルクの向上とストライド長の増加が示唆された。

第8章 要約

【緒言】高校生期は形態の発育が減少することにより、機能の発達が停滞することが示されている(Beunen & Malina 1988)。また、スポーツ活動などによる強い運動刺激が体力の優劣により大きな開きをもたらす可能性が示唆されている(引原ら 2007)。しかし、これまでの研究は一般生徒を対象にしており、競技者の体力の変化は明らかになっていない。そこで本研究では陸上競技者を対象に体力の変化を調査した。陸上競技者が高い競技パフォーマンスを発揮するためには、優れた体力と技術が重要であると考えられている(渡邊ら 2003)が、その両者の変化を縦断的に調査した研究は数少ない。そこで、本研究では高校生期の陸上競技者における年間を通しての体力および疾走動作の変化を明らかにし、疾走能力に影響を及ぼす要因を解明することを目的とした。

【方法】本研究の被験者は、短距離種目あるいは跳躍種目を専門にトレーニングを行う男子高校生 11 名であった。測定は、陸上競技のトラックシーズンを基準にシーズン前(3月)、シーズン中(8月)とシーズン後(12月)に実施した。本研究では疾走能力の指標として 100m の全力疾走を行った。また、体力における機能の評価として 5 種類のジャンプのジャンプ高、100m バウンディングの歩数、メディシンボール投げの投距離、足関節トルクおよび膝関節トルクの測定を、体力における形態の評価として形態計測と超音波法を用いた筋厚の計測をした。さらに、100m の全力疾走における 50m 地点の疾走動作を高速度ビデオカメラで左側方から撮影(250fps, 1/500)し、その映像から運動学的変数を算出した。

【結果】疾走能力と膝関節トルクは、シーズン前と比べてシーズン中の方が高値を示し、測定間で有意な差が認められた。形態については前腕部と上腕後部の筋厚のみ測定間で有意な差が認められた。疾走動作については、ストライド長、もも上げ角度と振り出し角速度がシーズン前と比べてシーズン中で高値を示し、測定間で有意な差が認められた。また、シーズン前からシーズン中までの最大重心速度の変化量とストライド長の変化量との間に有意な正の相関関係が認められた($p < 0.05$)。

【考察】本研究の結果、年間を通して形態はほとんど変化しなかった。一方、疾走能力と膝関節トルクはシーズン中に向上することが明らかとなった。また、疾走動作においてもストライド長、もも上げ角度と振り出し角速度がシーズン中に増加することが明らかとなった。疾走能力に影響を及ぼす要因としては、ストライド長の増加が示唆された。さらに、膝関節屈曲トルクについても、疾走能力とともに被験者全員が増加したこ

とや、先行研究(阿江 1986, 加藤ら 1999)において膝関節屈曲筋力の重要が明らかにされていることから、疾走能力の向上に影響を及ぼすことが推察された。

【結論】高校生期の陸上競技者は年間を通してシーズン中に体力が向上し、疾走動作も変化することが明らかとなった。疾走能力に影響を及ぼす要因として、ストライド長の増加と膝関節屈曲トルクの増加が示唆された。

謝辞

本研究に際して、様々なご指導を頂きました柳谷登志雄先生に深謝いたします。また、実験に協力していただいた、成田高等学校の陸上部の皆様、千葉黎明高等学校の陸上部の皆様、そして、日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いたバイオメカニクス研究室の皆様に感謝いたします。

引用文献一覧表

- 1) 阿江通良, 宮下憲, 横井孝志, 大木昭一郎, 渋谷侃二: 機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度, 筑波大学体育科学系紀要, 9, 229-239, (1986)
- 2) Alexander M.J.L: The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters., Can J Sports Sci., 14(3), 148-157, (1989)
- 3) Amigó N, Cadefau JA, Ferrer I, Tarrados N, Cussó R.: Effect of summer intermission on skeletal muscle of adolescent soccer players., J Sports Med Phys Fitness, 38(4), 298-304, (1998)
- 4) 新井宏昌, 渡邊信晃, 高本恵美, 真鍋芳明, 前村公彦, 岩井浩一, 宮下憲, 尾懸貢: 国内一流女子スプリンターにおけるトレーニング経過にともなう形態的・体力的要因と疾走動作の変化(事例報告), 体育学研究, 49, 335-346, (2004)
- 5) Beunen G, Malina RB: Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt., Exercise and sports sciences reviews, 16, 503-540, (1988)
- 6) Caldwell BP, Peters DM: Seasonal variation in physiological fitness of a semiprofessional soccer team., J Strength Cond Res., 23(5), 1370-1377, (2009)
- 7) Farrar M, Thorland W: Relationship between isokinetic strength and sprint times in college-age men., J Sports Med., 27, 368-372, (1987)
- 8) Fournier M, Ricci J, Taylor A.W, Ferguson R.J, Montpetit R.R, Chaitman B. R: Skeletal muscle adaptation in adolescent boys: sprint and endurance training and detraining., Medicine and Science in Sports and Exercise, 14(6), 453-456, (1982)
- 9) 藤井勝紀: 男子における身長発育のパターンに関する検討: velocity curve からの分析, 愛知工業大学研究報告教養関係論文集, 20(A), 39-44, (1985)
- 10) 深代千之: 無酸素性パワーの測定と評価法, スポーツ医・科学, 4(2), 25-34, (1990)
- 11) 福永哲夫, 金久博昭, 角田直也, 池川繁樹: 発育青少年の体肢組成, 人類学, 97(1), 51-62, (1989)
- 12) 引原有輝, 笹山健作, 沖嶋今日太, 水内秀次, 吉武裕, 足立稔, 高松薫: 思春期前期および後期における身体活動と体力との関係性の相違 - 身体活動の「量的」および「強度的」側面に着目して -, 体力科学, 56, 327-338, (2007)

- 13) 猪飼道夫：体力論，適応協関の生理学医学書院，724，(1970)
- 14) 伊藤章，市川博啓，斉藤昌久，佐川和則，伊藤道郎，小林寛道：100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係，体育学研究，43，260-273，(1998)
- 15) 岩竹淳，鈴木朋美，中村夏実，小田宏行，永澤健，岩壁達男：陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係，体育学研究，47，253-261，(2002)
- 16) 岩竹淳，山本正嘉，西菌秀嗣，川原繁樹，北田耕司，関子浩二：思春期後期の生徒における加速および全力疾走能力と各種ジャンプ力および脚筋力との関係，体育学研究，53，1-10，(2008)
- 17) 岩竹淳，北田耕司，川原繁樹，関子浩二：ジャンプトレーニングが思春期後期における男子生徒の疾走能力に与える影響，体育学研究，53，353-362，(2008)
- 18) 加藤謙一，山中任広，宮丸凱史，阿江通良：男子高校生の疾走能力および最大無酸素パワーの発達，体育学研究，37，291-304，(1992)
- 19) 加藤謙一，宮丸凱史，松元剛，秋間広：ジュニアスプリンターの疾走能力の発達に関する縦断的研究，体育学研究，44，360-371，(1999)
- 20) Markovic G, Jukic I, Milanovic D, Metikos D: Effect of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance., Journal of strength and Conditioning Research, 21(2), 543-549, (2007)
- 21) Mero A, Luhtanen P, Vitasalo JT, Komi PV: Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters., Scand J Sports Sci., 3(1), 16-22, (1981)
- 22) Mero A, Komi PV, Gregor RJ: Biomechanics of sprint running. A review., Sports Med., 13(6), 376-392, (1992)
- 23) 文部科学省：平成 16 年度体力・運動能力調査報告書，(2005)
- 24) Narici MV, Hoppeler H, Kayser B, Landoni L, Claassen H, Gavardi C, Conti M, Cerretelli P: Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training., Acta Physiol Scand., 157(2), 175-186, (1996)
- 25) 丹羽昇：肘関節屈曲筋の静的筋力トレーニング効果 - 中・高校生と一部大学生・一般人の男子の場合 - ，体育学研究，14(2)，33-38，(1969)

- 26) Paasuke M, Ereline J, Gapeyeva H: Twitch contraction properties of plantar flexor muscle in pre- and post-pubertal boys and men., Eur J Appl Physiol., 82(5-6), 459-464, (2000)
- 27) 斉藤昌久, 伊藤章: 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, (1995)
- 28) 志賀充, 高橋佳三, 望月聡, 豊田則成, 渋谷俊浩: 陸上競技の短距離選手に対するコーチング実践-縦断的な動作測定・筋力測定・動作意識からトレーニングの方向性を探る-, びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要, 6, 121-131, (2009)
- 29) Smirniotou A, Katsikas C, Paradisis G, Argeitaki P, Zacharogiannis E, Tzioetzi S: Strength-power parameters as predictors of sprinting performance., J Sports Med Fitness., 48(4), 447-454, (2008)
- 30) 高橋和文, 黒川隆志, 沖原謙, 崔勝旭, 塩川満久, 磨井祥夫: 100m 走中の区間速度に対する体力要因の相対的貢献度, スポーツ方法学研究, 15(1), 35-43, (2002)
- 31) Tonson A, Ratel S, Le Fur Y, Cozzone P, Bendahan D: Effect of maturation on the relationship between muscle size and force production., Med Sci Sports Exerc., 40(5), 918-925, (2008)
- 32) 渡邊信晃, 榎本靖士, 大山卞圭悟, 宮下憲, 尾懸貢, 勝田茂: スプリント走時の疾走動作および関節トルクと等速性最大筋力との関係, 体育学研究, 48, 405-419, (2003)
- 33) Young W, McLean B, Ardagna J: Relationships between strength qualities and sprinting performance., J Sports Med Phys Fitness., 35(1), 13-19, (1995)
- 34) 関子浩二, 高松薫: リバウンドジャンプにおける踏切時間を短縮する要因-下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して-, 体育学研究, 40, 29-39, (1995)

欧文要約

Seasonal variation of physical fitness, anthropometric characteristic and sprint running movement in track and field athletes of high school student

Aya Miyamoto

【PURPOSE】 The purpose of this study was to investigate seasonal variation of physical fitness and sprint running movement in track and field athletes of high school student.

【METHOD】 Eleven boys (pre-season: height 170.5 ± 4.9 cm, body weight 61.2 ± 4.1 kg, middle of season: 170.7 ± 4.9 cm, 60.2 ± 4.2 kg, off-season: 170.7 ± 5.0 cm, 61.4 ± 3.5 kg) participated in this study. Subjects belonged to track and field club of their high school. Body composition and physical fitness were determined 3 times a year; pre-season, middle of season, and the off-season. Measurements of anthropometric characteristic were height, body weight, the limb length, the limb girth, subcutaneous fat thickness, and muscle thickness. We applied test of physical fitness that included measurements of 4 specific motor qualities: sprint running performance, jumping performance, medicine ball throw, joint torque of knee and ankle. Sprint running movements were filmed around the 50m point from the start line during a 100m using high-speed cameras (250fps, 1/500sec). A one-way analysis of variance with Tukey post hoc comparisons was used to locate significant differences across season. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

【RESULTS】 No significant differences were found in height, body mass, the limb length, the limb girth except waist, subcutaneous fat thickness across seasons. On the other hands, significant difference was found in 100m time, maximal running velocity, joint torque of knee extension, joint torque of knee flexion between pre-season and middle of season. Therefore, step length, the maximal thigh angle and the maximal leg front swing velocity was significant difference between pre-season and middle of season. The increases in maximal running velocity showed a significant positive correlation with strength length.

【DISCUSSION&CONCLUSION】 Anthropometric characteristics did not change as results of investigating seasonal variation of physical fitness in track and field athletes

of high school student. On the other hand, sprint running performance and joint torque of knee have improved in physical fitness. Moreover, sprint running movements changed across season. These results indicated that improvement of sprint performance can be caused by the increase in the stride length and the improvement of joint torque of knee.

図表一覧

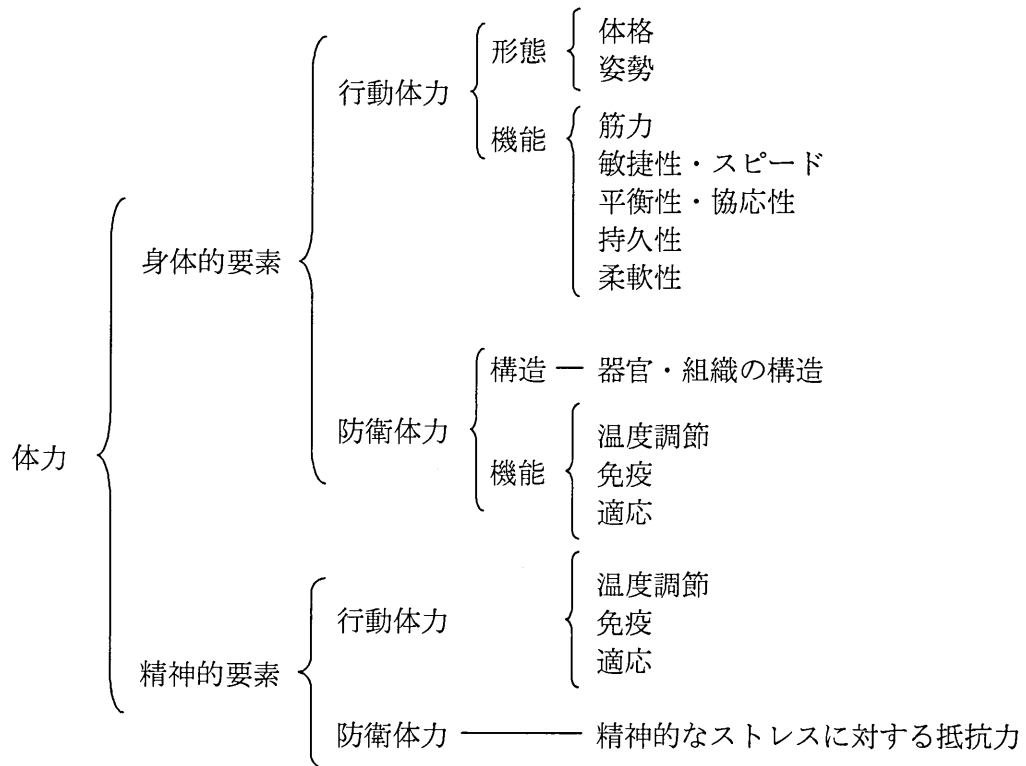


図1 猪飼による体力の分類¹³⁾

表 1 被験者の身体的特徴

測定項目	シーズン前(T1)	シーズン中(T2)	シーズン後(T3)	p<0.05
暦年齢 (歳)	16.8 ± 0.7	17.2 ± 0.7	17.5 ± 0.7	T1<T2<T3
身長 (cm)	170.5 ± 4.9	170.7 ± 4.9	170.7 ± 5.0	
体重 (kg)	61.2 ± 4.1	60.2 ± 4.2	61.4 ± 3.5	

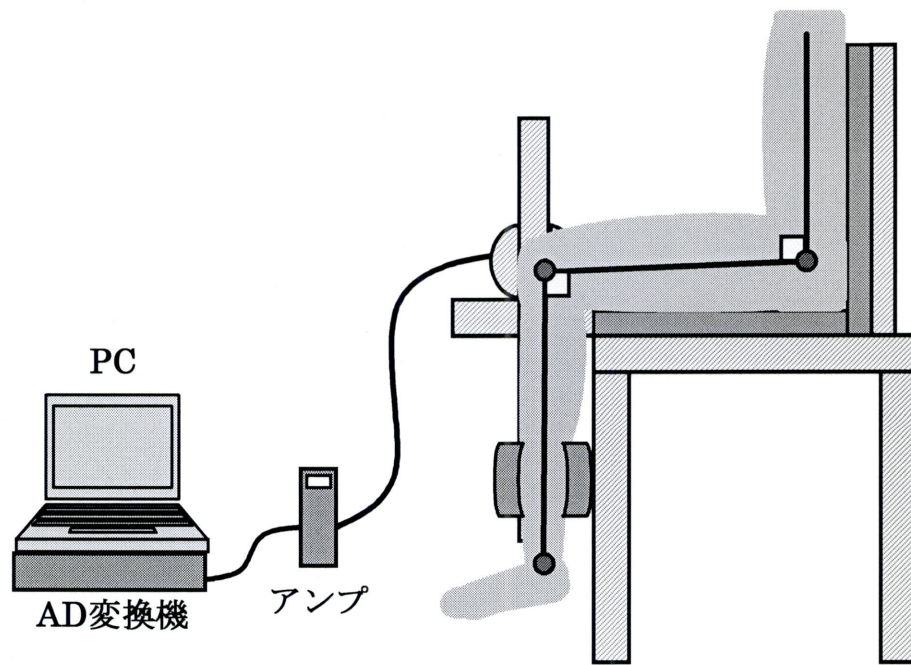


図 2 膝関節伸展トルク(KE)および膝関節屈曲トルク(KF)の実験概要図

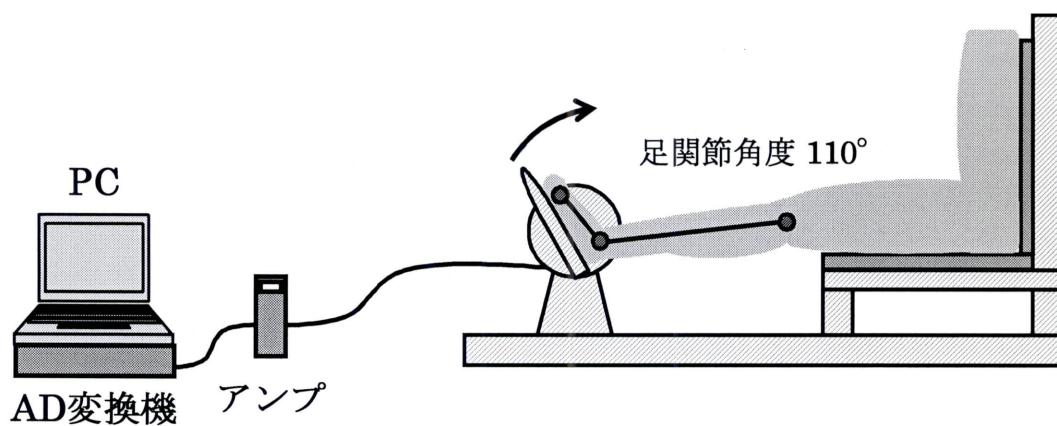
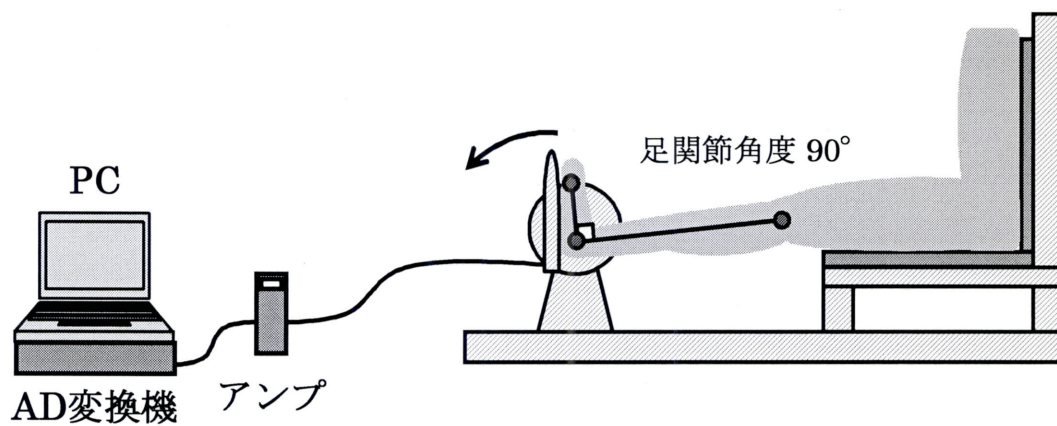


図3 足関節底屈トルク(PF)および足関節背屈トルクの実験概要図
(上図: PF, 下図: DF)

表 2 各測定時における疾走能力および体力における機能の指標

測定項目	シーズン前(T1)	シーズン中(T2)	シーズン後(T3)	p<0.05
100mタイム (sec)	12.06 ± 0.27	11.74 ± 0.31	11.82 ± 0.27	T1>T2
Vmax (m/sec)	9.38 ± 0.23	9.66 ± 0.32	9.57 ± 0.26	T1<T2
CMJ (cm)	44.60 ± 6.20	46.77 ± 5.81	46.76 ± 5.50	
SJ (cm)	38.16 ± 4.96	40.12 ± 4.23	40.35 ± 4.21	
DJ30 (cm)	34.27 ± 8.13	38.70 ± 5.52	36.75 ± 6.01	
DJ40 (cm)	35.18 ± 6.97	40.43 ± 6.21	38.87 ± 7.06	
DJ50 (cm)	35.75 ± 6.92	41.18 ± 6.09	39.70 ± 7.90	
100mBD (歩)	37.20 ± 3.19	35.18 ± 1.83	35.73 ± 2.16	
MBF (m)	10.50 ± 0.92	10.42 ± 1.29	11.31 ± 1.41	
MBB (m)	11.01 ± 1.23	11.23 ± 1.54	11.67 ± 1.48	
KE (Nm)	145.28 ± 32.29	179.58 ± 33.48	178.82 ± 21.35	T1<T2, T3
KF (Nm)	88.75 ± 15.56	115.74 ± 15.15	125.97 ± 20.45	T1<T2, T3
PF (Nm)	143.95 ± 55.10	175.62 ± 24.18	177.26 ± 29.77	
DF (Nm)	39.19 ± 4.62	42.60 ± 4.00	41.26 ± 4.71	

表3 各測定時における体力における形態の指標

測定項目	シーズン前(T1)	シーズン中(T2)	シーズン後(T3)	統計	
身長 (cm)	170.5 ± 4.9	170.7 ± 4.9	170.7 ± 5.0		
体重 (kg)	61.2 ± 4.1	60.2 ± 4.2	61.4 ± 3.5		
体肢長	上腕長 (cm)	31.7 ± 2.0	31.5 ± 2.1	31.6 ± 1.9	
	前腕長 (cm)	24.1 ± 1.0	24.3 ± 1.0	24.4 ± 1.0	
	大腿長 (cm)	41.1 ± 1.6	41.0 ± 1.5	41.0 ± 1.4	
	下腿長 (cm)	39.6 ± 1.8	39.5 ± 1.8	39.5 ± 1.7	
周径囲	上腕囲 (cm)	27.3 ± 1.2	26.4 ± 1.3	26.5 ± 1.2	
	前腕囲 (cm)	25.0 ± 0.9	24.6 ± 0.9	24.9 ± 0.7	
	大腿囲 (cm)	51.3 ± 1.6	50.1 ± 1.8	50.6 ± 1.8	
	下腿囲 (cm)	37.1 ± 1.2	36.7 ± 1.2	36.6 ± 1.0	
	胸囲 (cm)	87.5 ± 1.8	85.6 ± 2.3	87.2 ± 2.1	
	ウエスト (cm)	72.3 ± 1.9	69.5 ± 2.4	71.3 ± 2.3	
	ヒップ (cm)	88.9 ± 2.7	87.5 ± 1.8	87.7 ± 2.2	
皮下脂肪厚	前腕部 (mm)	2.2 ± 0.5	2.1 ± 0.4	2.5 ± 0.5	
	上腕前部 (mm)	1.5 ± 0.3	1.5 ± 0.3	1.6 ± 0.2	
	上腕後部 (mm)	3.0 ± 0.5	3.1 ± 0.7	3.8 ± 0.9	
	大腿前部 (mm)	3.7 ± 0.5	3.0 ± 0.7	3.2 ± 1.0	
	大腿後部 (mm)	3.6 ± 1.0	3.6 ± 0.7	4.4 ± 1.3	
	下腿前部 (mm)	2.3 ± 0.4	2.2 ± 0.4	2.1 ± 0.4	
	下腿後部 (mm)	3.3 ± 1.0	3.6 ± 1.0	3.3 ± 1.0	
	背部 (mm)	5.1 ± 1.0	4.7 ± 1.2	5.2 ± 0.9	
	腹部 (mm)	3.8 ± 1.0	3.6 ± 1.0	3.5 ± 1.0	
筋厚	前腕部 (mm)	21.4 ± 2.0	21.6 ± 1.5	23.5 ± 1.5	T1, T2 < T3
	上腕前部 (mm)	27.2 ± 2.7	26.3 ± 4.1	29.0 ± 2.6	
	上腕後部 (mm)	29.7 ± 2.2	33.3 ± 3.3	29.9 ± 3.2	T1, T3 < T2
	大腿前部 (mm)	51.6 ± 3.1	50.8 ± 4.2	52.8 ± 4.4	
	大腿後部 (mm)	62.1 ± 3.5	65.4 ± 4.9	65.7 ± 4.5	
	下腿前部 (mm)	28.2 ± 2.2	28.6 ± 2.9	28.3 ± 2.2	
	下腿後部 (mm)	67.3 ± 3.7	69.0 ± 3.3	67.6 ± 2.7	
	背部 (mm)	18.4 ± 4.8	17.5 ± 4.9	18.3 ± 4.1	
	腹部 (mm)	15.4 ± 2.1	16.1 ± 1.7	17.2 ± 1.6	

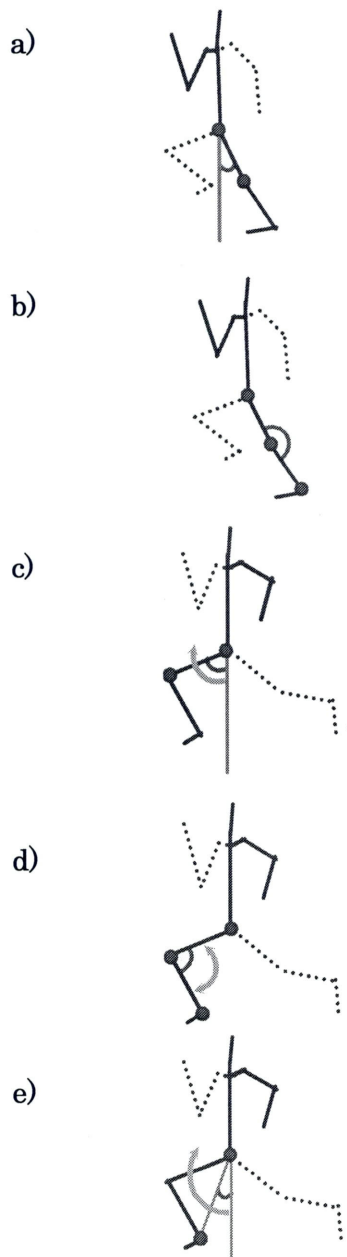


図2 関節角度定義

a)接地期における股関節角度, b)接地期における膝関節角度, c)遊脚期におけるもも上げ角度および角速度, d)遊脚期における引き付け角度および角速度, e)遊脚期における振り出し角度および角速度

表 4 各測定時における 100m 全力疾走中の角度, 角度変位および角速度

分析項目	シーズン前(T1)	シーズン中(T2)	シーズン後(T3)	p<0.05
最大重心速度 (m/sec)	10.09 ± 0.26	10.49 ± 0.37	10.38 ± 0.31	T1<T2
ピッチ (Hz)	4.49 ± 0.13	4.44 ± 0.18	4.51 ± 0.22	
ストライド長 (m)	2.07 ± 0.06	2.18 ± 0.11	2.15 ± 0.13	T1<T2
接地時の膝関節角度 (deg)	145.4 ± 6.9	146.4 ± 4.9	147.2 ± 5.9	
接地時の股関節角度 (deg)	54.3 ± 5.1	52.6 ± 5.4	56.3 ± 3.4	
離地時の膝関節角度 (deg)	145.4 ± 5.1	146.3 ± 4.1	148.1 ± 5.8	
離地時の股関節角度 (deg)	113.5 ± 4.2	112.8 ± 6.5	115.6 ± 4.2	
膝関節角度変位 (∠deg)	7.4 ± 3.9	5.9 ± 2.6	7.5 ± 3.5	
股関節角度変位 (∠deg)	58.0 ± 7.3	58.8 ± 8.8	58.1 ± 5.0	
引き付け角度 (deg)	35.9 ± 6.5	33.0 ± 6.3	36.5 ± 3.9	
もも上げ角度 (deg)	64.3 ± 4.7	69.1 ± 4.2	65.5 ± 4.0	T1<T2
振り出し角度 (deg)	27.6 ± 3.6	31.4 ± 4.4	30.6 ± 3.7	
引き付け角速度 (deg/sec)	-1080.0 ± 103.0	-1104.9 ± 107.7	-1110.6 ± 105.4	
ももあげ角速度 (deg/sec)	691.3 ± 65.2	740.4 ± 60.9	716.6 ± 58.2	
振り出し角速度 (deg/sec)	722.6 ± 79.3	820.3 ± 87.9	714.2 ± 73.5	T1, T3<T2

表5 シーズン前とシーズン中の間で有意な差が認められた変数の変化量と Vmax, 最大重心速度およびストライド長との相関関係

		Vmax	最大重心速度	ストライド長
Vmax		1.000		
最大重心速度		0.788 *	1.000	
体力	膝関節伸展トルク	-0.137	0.012	-0.333
	膝関節屈曲トルク	0.445	0.107	0.473
	前腕筋	0.108	-0.538	-0.627
	上腕後筋	0.010	-0.537	-0.542
疾走動作	ストライド長	0.347	0.730 *	1.000
	ピッチ	0.506	0.135	-0.467
	ももあげ	0.017	-0.115	0.137
	振り出し角速度	0.347	0.304	0.634 *