

平成22年6月11日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20700495
 研究課題名 (和文) 小学生児童の疾走および跳躍動作における下肢筋機能の発達的特徴の
 究明
 研究課題名 (英文) A study of developmental characteristics in the neuro-muscular
 function of the lower limb for elementary school children during running and jumping
 研究代表者
 榎本 靖士 (ENOMOTO YASUSHI)
 京都教育大学・教育学部・准教授
 研究者番号：90379058

研究成果の概要 (和文)：小学生児童にランニングジャンプ (RunJ) を行わせ、踏切動作における下肢の神経-筋機能の発達的特徴を検討した。学年が大きくなるにつれて踏切における膝関節の屈曲および伸展が小さかった。そして本研究の結果から、踏切動作において低学年は脚の筋力は小さいこと、中学年においてパワーは増大しているものの、神経機能の働きによる調整が不十分であること、高学年では脚の筋力およびパワーが安定して発揮されるようになっており、これは神経機能からみられる運動の習熟が関係していることが示唆された。

研究成果の概要 (英文)：The purpose of this study was to examine developmental characteristics in neuro-muscular function of lower limb during running and jumping for the elementary school children. The results were follows; 1) Height of CMJ and RJ-index increased with growth. 2) Joint work at the hip in CMJ and at the ankle in 5RJ increased. 3) Pre activity of GA and TA muscles before the foot contact was shown for the sixth grade subject. These results indicate that children acquire motor pattern for counter movement jump and rebound jump and could perform using force enhancement by pre stretch. However, this mechanism can't explain the variation between the grades and within subject.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：スポーツバイオメカニクス

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：生物・生体工学、体育、生理学、バイオメカニクス、子ども、体力、発達

1. 研究開始当初の背景

現在、子どもの体力・運動能力の低下が大きな社会問題として取り上げられている。その背景には、子どもたちの遊ぶ時間、空間、仲間が減少し、運動量が低下したことが原因と考えられている。しかし、たとえ運動量の低下が重大な問題だとしても、現代社会において昔のようにたくさん遊べる環境を子どもたちに提供することは困難であろう。

学校の体育授業では、児童に運動に関する知識を増やし、興味・関心を高めるばかりではなく、運動能力を高めることが重要である。限られた少ない時間で、効果的に子どもの運動能力を高めるためには、子どもの発育・発達に伴う運動能力の向上に関して科学的データをもとに把握しなければならない。特に体力ばかりでなく、動きの習得についてはデータが乏しい。動きを効果的に身につけていくためには、小さいころから系統的に習得することが重要であるが、どのような運動経験が、またどのような体力要素が動きの習得に資するかについて議論が不足しているようである。

子どもの疾走動作に関しては、宮丸 (1996) や加藤ら (1999) のキネマティクスの研究はあるが、キネティクスの研究はほとんどない。一方、筋力の発育・発達に関しては、船渡 (1989) や金久 (2007) によってまとめられているように多くの研究が行なわれているものの、動きとの関係までは論じられていない。児童の動きにおけるキネティクスの研究は、動きを効果的に身につけるための運動課題を検討するために必要であろう。

陸上競技における短距離走においてはキネティクスの研究が多く行なわれ (阿江ら 1986; 馬場ら 2000)、動きの特徴ばかりでなく、その動きのバイオメカニクスのメカニズムを究明することによってトレーニング方法が考案されている。榎本 (2007) は、子どもの疾走能力の開発を目指して、1~6年生男子児童を対象に疾走動作、スキップおよびジャンプ動作のキネティクスの研究を行なった。その結果、児童それぞれによって下肢3関節でのトルクおよびパワーの発揮のし方に個性はあるが、学年があがるにつれて下肢3関節のトルク総和 (サポートモーメント) が大きくなることがわかった。すなわち、これは、支持期に身体の左右軸まわりのバランスを取ることで推進力を効果的に得られるようになることを示しており、身体を支えるための筋力の発達が疾走能力の発達に重要であることを示唆するものであった。

発育・発達に関する垂直跳びの研究では (Bosco と Komi 1980)、垂直跳びとスクワットジャンプにおける体重あたりの力積やパワーが成人と比較して小さいことや筋の

予備伸長効果の利用 (垂直跳びとスクワットジャンプの跳躍高の差) が小さいことを明らかにしている。足関節の静的底屈および背屈筋力の研究では (Kanehisa ら 1995)、底屈筋力は横断面積や下腿長あたりに規格化しても年齢の高いグループで筋力が向上することを明らかにし、発育・発達にともなう神経系の要因による筋力の向上の可能性を示唆している。以前は子どもの筋力トレーニングに対して否定的な意見が多かったが、近年では子どもの筋力トレーニングのガイドラインが提案されるなど (平野ら 2005)、子どもに安全に、効果的に筋力トレーニングを実施させることは推奨されるようになってきている。

以上のことは、子どもの疾走能力などの運動能力の発達は、筋の大きさとともに神経系を主な要因とする筋力に大きく影響されていることを示唆するものであり、子どもに効果的に筋力トレーニングを実施することにより子どもの体力および運動能力の向上が期待できると考えられる。しかし、ただ筋力トレーニングを行なっても目的とする動きが身に付かなければ運動能力が向上しないであろうし、筋力やパワーは動きの中で発揮されることで運動能力として評価されるため、実際の動きの中で子どもの筋力の特性を明らかにする必要がある。そのためには、子どもの動作のキネティクスの研究が必要であり、筋の働きにまで言及できる基礎的データを蓄積する必要があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は疾走および跳躍動作における下肢の動作と地面反力を計測するとともに、下肢の主要筋群の筋電図 (EMG) を計測し、下肢筋群の力、収縮特性およびパワーを推定し、疾走および跳躍動作における下肢筋群の機能の発育・発達の特性を明らかにしようとするものである。これにより、子どもの筋機能の発達を促進するための運動課題を考案し、効果的に動きを改善するために役立つ知見を提供することができると考えられる。

すでに、子どもの疾走能力とドロップジャンプパフォーマンスに高い相関が報告されているが (岩竹ら 2007)、これはドロップジャンプにおける下肢筋群、とくに足関節底屈筋群の力・パワー発揮特性が疾走動作におけるそれと類似していることを示唆するものであると考えられる。しかし、子どもにとってドロップジャンプを実施することは難しく、ドロップジャンプ遂行能力を高めることと疾走能力を高めることは同程度に困難な課題であると言えよう。遠藤ら (2007) は、子どものリバウンドジャンプおよび垂直跳

びパフォーマンスと足関節底屈筋群の形態および筋力との関係を検討している。しかし、動きの中で発揮される筋の機能を研究したものではない。

疾走および跳躍動作における下肢筋群の機能の発達特性を明らかにすることは、疾走および跳躍において発揮すべき筋力・パワーを発達させるための運動課題を検討するための基礎的データを提供するものである。下肢の動作と地面反力から下肢関節まわりのトルクおよびパワーを算出し、さらに EMG データとあわせて検討することにより、下肢筋群の収縮様式およびパワー特性を明らかにすることができると考えられる。馬場ら (2000) は、このような方法により短距離選手の疾走中の下肢筋群の活動様式を明らかにしている。本研究でも、子どもの疾走および跳躍動作における筋の活動様式の違いを明らかにすることで、より詳細に運動における筋の機能の発達を検討することができるであろう。

さらに、筋の機能の発達を促す下肢筋機能の発達促進プログラムを開発し、小学生児童に行なわせ、即時のトレーニング効果や数週間にわたるトレーニング効果を検討することで、より確かな筋の機能と運動能力の向上との関係を検討することができるであろう。高齢者を対象として、筋の機能的特性を明らかにし、運動プログラムを開発し、その効果を検証したものは多くあるが (例えば、福永 2002)、小学生児童においての実践例はみられない。

3. 研究の方法

(1) 実験

①被験者および分析対象者

小学生児童 13 名 (男子児童 7 名, 女子児童 6 名) を被験者とした。実験を開始するにあたり、児童およびその保護者に研究目的、方法および実験に伴う安全性に関して十分な説明を行った後、実験参加の同意を得た。その中から 10 名 (男子児童 4 名, 女子児童 6 名) を分析対象者とした。表 II-1 は、分析対象者の特性を示したものである。

②実験試技

以下の実験試技 a から b において、それぞれ 5 回の成功試技が得られるまで行わせた。

a. ランニングジャンプ (RunJ)

スタンディングスタートから 10m の助走をし、フォースプラットフォーム上で踏切動作を行わせ、できる限り遠くへ跳ぶように口頭で指示した。踏切位置の目安として、被験者の膝上の高さのミニハードルをフォースプラットフォームの中心から約 0.7m の位置に設置した。また、自然なフォームのまま踏切脚でフォー

プラットフォームを踏むことができた試技を成功試技とした。

b. ランニング (Run)

フォースプラットフォームから 10m 程度の地点にスタート位置を設定し、スタンディングスタートからランニングを行わせた。また、自然なフォームのまま踏切脚でフォースプラットフォームを踏むことができた試技を成功試技とした。

C. 垂直跳び (CMJ)

フォースプラットフォーム (kistler 社, 9281B) 上で、手を腰にあてた状態で立位姿勢から脚の反動動作のみを用いて垂直跳びを行わせた。なお、被験者には、できる限り高く跳躍するように口頭で指示した後、大学生によるデモンストレーションを見せた。また、指示どおりにスムーズに全力で踏切ることができた試技を成功試技とした。

d. 5 回連続リバウンドジャンプ (5RJ)

フォースプラットフォーム上で、手を腰にあてた状態で立位姿勢からその場で連続して 5 回の跳躍運動を行わせた。なお、被験者には、できる限り接地時間を短くしできる限り高く跳躍するよう口頭で指示した後、大学生によるデモンストレーションを見せた。全てのジャンプをフォースプラットフォーム上で行うことができた試技を成功試技とした。

(2) データ収集

①VTR 撮影

フォースプラットフォームの側方 9m 地点にハイスピードカメラ (CASIO 社製, EX-F1) を設置し、各試技の踏切動作および疾走動作を固定撮影した。撮影スピードは毎秒 300 コマ、電子シャッターは 1/1000 秒であった。

②地面反力測定

地面反力は、フォースプラットフォームが発したアナログ信号をアンプにより増幅した後、AD 変換ユニットを介してデジタル信号に変換し、サンプリング周波数 1000Hz でコンピュータに取り込んだ。また、地面反力と画像の同期は、発光ダイオードランプを画像に映しこみ、同時に電気信号をコンピュータに取り込むことで行った。

③筋電図測定 (EMG)

筋電図は、プレアンプ式筋電図センサ (S&ME 社製, DL-141) を用いて、踏切脚の腓腹筋、前脛骨筋、ヒラメ筋、大腿二頭筋、外側広筋、大腿直筋の 6 筋を表面筋電図法 (EMG) により導出した。得られた電気信号はデータロガー (S&ME 社製, BIOLOG, DL-2000) に送られ、サンプリング周波数 1000Hz で A/D 変換されコンピュータに記録された。また、筋電図と画像の同期は、発光ダイオードランプを

画像に映しこみ、同時に電気信号をデータロガーに取り込むことを行った。

(3) データ処理

①Kinematics

得られたVTR画像から身体計測点7点(つま先, 母指球, 踵, 外踝, 膝関節中心, 大転子, および肩)および較正マーク4点をビデオ動作解析システム(DKH社製, Frame-DIAS II)を用いてデジタル化した。分析範囲は, RunおよびRunJにおいて踏切接地5コマ前から踏切離地5コマ後, CMJにおいて動作開始5コマ前から踏切離地5コマ後, 5RJにおいて動作開始5コマ前から5回目踏切離地5コマ後とした。得られた身体部分点の2次元座標は, 較正マークをもとに実長換算し, 進行方向をX座標, 鉛直方向をY座標とした。Wells and Winter (1980)の方法を用いて最適遮断周波数を決定し平滑化を行った。実際の最適遮断周波数は, X座標が7~14Hz, Y座標が6~13Hzであった。

平滑化したデータから, 横井ら(1986)の身体部分係数を用いて部分の重心を算出した。

平滑化したデータから, 身体の足, 下腿, 大腿および体幹の4セグメントモデル化し, 身体部分および関節角度を求めた。

身体分析点, 部分および関節角度の変位データを数値微分することで速度および加速度を求めた。

②Kinetics

身体部分を剛体リンクモデルにみなして運動方程式をたて, 身体の遠位部分から順次解くことによって関節力および関節トルクを算出した。

関節トルクパワーは, 関節トルクと関節角速度の積で求めた。

③筋電図

筋電図は, アーチファクト成分を除去するために6Hzでハイパスフィルタリングを行った。

(4) 算出項目

①踏切時間 (CT)

踏切における接地から離地までを踏切局面とし, その局面に要した時間を踏切時間(CT)とした。ランニングジャンプおよび5回連続リバウンドジャンプでは, 地面反力の鉛直成分(F_z)が体重の5%以上となった時点を接地とし, 体重の5%以下となった時点を離地とした。また, 垂直跳びでは, 地面反力の鉛直成分が体重の95%以下となった時点を接地とし, 体重の5%以下となった時点を離地とした。

②身体重心速度 (V) および身体重心角度 (θ)
ランニングジャンプにおける矢状面での大転子の速度ベクトルを身体重心速度 (V) とし, 接地および離地時の身体重心ベクトルを踏込速度 (V_{td}) および踏切速度 (V_{to}) とした。また, 踏切中の身体重心速度の最大値と最小値の差を速度変化量とした。

さらに, 身体重心速度 (V) とX軸の間の角度を身体重心角度 (θ) とし, 接地および離地時の身体重心角度をそれぞれ踏込角度 (θ_{td}) および踏切角度 (θ_{to}) とした。また, 踏切中の身体重心角度の最大値と最小値の差を角度変化量とした。

③踏切効率 (EI)

踏切効率は, 地面反力の水平成分 (F_x) の積分値 (I_x) を, 地面反力の鉛直成分 (F_y) の積分値 (I_y) で除することで求めた。なお, 地面反力の水平成分の負の値を積分したものを減速量 ($-I_x$) とした。

④跳躍高

垂直跳びにおける跳躍高は, 地面反力の鉛直成分 (F_y) から力積および鉛直初速度を算出し, それをもとに跳躍高 (CMJ-H) を求めた。5回連続リバウンドジャンプにおける跳躍高は, 滞空時間 (AT) をもとに跳躍高 (5RJ-H) を算出した。

⑤5RJindex

5回連続リバウンドジャンプにおける跳躍高を踏切時間で除することで求めた。

⑥最大関節トルク

踏切脚3関節における最大値を最大関節トルクとした。

⑦最大関節トルクパワー

踏切脚3関節における関節トルクパワーの最大値を最大正トルクパワーとし, 最小値を最大負トルクパワーとした。

⑧仕事

踏切中における正の仕事 (PW) および負の仕事 (NW) を算出した。

⑨足関節および膝関節スティフネス

足関節および膝関節スティフネスを関節トルク-角度関係における近似直線の傾きをスティフネスとして算出した。

4. 研究成果

(1) 踏切動作の学年比較

図1は, 1年生の被験者A1gと6年生の被験者J6bのRunJ踏切中のスティックピクチャーと関節および部分角度変化を示したも

のである。A1g では接地時に膝関節角度および下腿後傾角が小さく、膝関節角度が素早く大きく屈曲するとともに下腿が前傾し、これにより鉛直下向きの速度が大きくなり踏込角度が大きくなっていったと考えられる。膝関節最大屈曲後は、足および膝関節が大きく伸展し離地していた。J6b では接地時の膝関節角度および下腿後傾角を大きく、その後の膝関節の屈曲が小さかった。膝関節最大屈曲後は低学年と比較すると膝関節伸展角変位は小さかった。これらのことから、低学年の踏切動作は、足および膝関節を大きく屈曲させることで踏切中の速度変化量が小さく、身体重心速度の向きを変化させて跳び出す動作であり、高学年の踏切動作は、踏切で身体重心が水平に近く接地し、膝関節の屈曲と伸展が小さく、速度変化量が大きく、あまり上方に跳び出さない特徴があると考えられる。

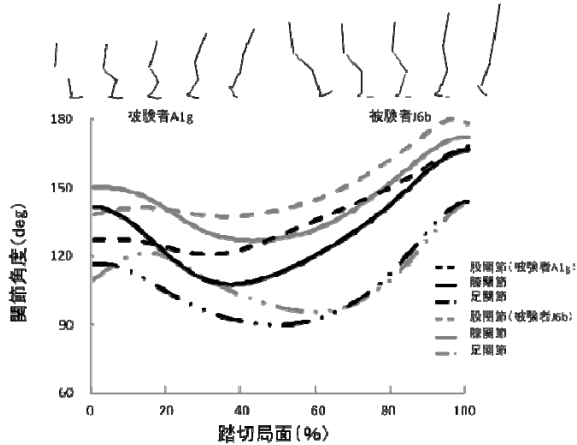


図1 RunJにおける踏切脚3関節角度変化(被験者A1gおよびJ6b)

(2) 下肢の筋力およびパワーの学年比較

CMJにおける跳躍高は被験者B1gで0.11m、被験者J6bで0.24mと学年が大きくなるにつれて増大する傾向がみられた。また5RJにおける跳躍高は被験者I6gで0.23mと最も大きく、被験者A1gで0.13mと最も小さく、学年が上がるにつれて大きいことが示された。

RunJにおいて踏切脚膝関節最大負トルクパワーを体重あたりでみると、2年生の被験者C2gおよび3年生の被験者E3bが顕著に大きく、5年生では小さく、かつ最大と最小の差も小さかった。阿江ら(1989)は、踏切では膝の伸展筋群がエキセントリックな筋収縮によって大きなトルクやパワーを発揮し、踏切時に大きな役割を果たすことを指摘している。以上のことから、小学校期の下肢のパワーの発達は膝関節のパワーの発達が大きく影響し、パワーの大きさがばらつきながら発達していると考えられる。RunJにおける踏切脚足関節の正の最大トルクパワーをみると、学年が大きくなるにつれて増大してい

るが、体重あたりでみると3~6年生で大きな差は見られなかった。

(3) 下肢の神経-筋機能の発達の特徴

スティフネスは、トルクと角変位の関係における傾きを示すものであり、スティフネスが大きいことは、小さな角変位で大きなトルクを発揮していることで力の立ち上がりが早いということを意味している。図2は、被験者A1gおよびJ6bのRunJにおける足および膝関節角度-トルク関係(体重あたり)を示したものである。足関節スティフネスは、被験者A1gであっても被験者J6bと似た傾きを示す試技もみられた。膝関節スティフネスは、被験者A1gはJ6bより顕著に小さかった。これらのことは、足関節では低学年であっても力の発揮するタイミングによって高学年と同様の力の立ち上がりが発揮される可能性があることを示していると考えられる。

EMGから、3年生の被験者E3bは大腿直筋において、試技を重ねるにつれて接地前からの筋活動がみられた。これは、踏切動作でのエキセントリックな筋活動を行うための予備緊張を示していると考えられ、低学年ではそのような筋活動を行うことができず、中学年で安定した活動となると示唆された。以上のことから、踏切において低学年は脚の筋力およびパワーは小さいものの、足関節で大きなパワーを発揮できる可能性がみられること、中学年において体重あたりの脚の筋力およびパワーは増大しているものの、神経機能の働きにより調整は十分に行なわれていないこと、高学年では脚の筋力およびパワーが安定して発揮されるようになっており、これは神経機能からみられる運動の習熟が関係していることが示唆された。

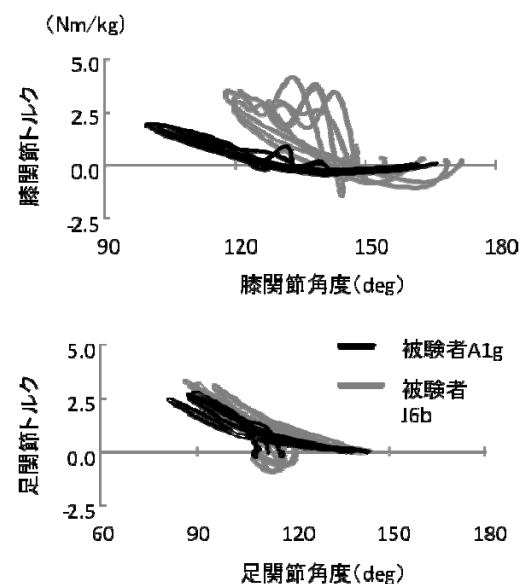


図2 RunJにおける踏切脚の足および膝関節角度-トルク関係(被験者A1g, J6b)

本研究で得られた結果をまとめると、以下のようになる。

①RunJの踏切動作は、低学年では膝関節の屈曲と伸展が大きく、高学年になると膝関節をより伸展したままで踏切るようになっていくことが示された。

②CMJおよび5RJにおけるパワーは学年が上がるにつれて大きくなることが示された。

③RunJにおける足関節の正のパワーおよび膝関節の負のパワー（絶対値）は学年が大きくなるにつれて増大する傾向がみられたが、体重あたりでみると学年間で大きな差はなく、かつ中学年では大きくばらついていることがわかった。

④体重あたりの足関節スティフネスは、学年があがるにつれて大きくなるが、1年生であっても6年生と同等の値を示す試技もみられた。

⑤筋電図から踏切において大きなパワーが発揮できていないものは予備緊張が不十分であることが示された。

以上のことから、小学生児童の踏切動作に見られる下肢の神経-筋機能の発達の特徴は、低学年は脚の筋力およびパワーは小さいものの、足関節で大きなパワーを発揮できる可能性がみられること、中学年において体重あたりの脚の筋力およびパワーは増大しているものの、神経機能の働きによる調整は不十分であること、高学年では脚の筋力およびパワーが安定して発揮されるようになっており、これは神経機能からみられる運動の習熟が関係していることが示唆された。すなわち本研究から、小学生児童の走や跳運動における脚のパワーは、筋の形態および機能の発達ばかりでなく、神経機能の発達にも影響を受けていることが示唆され、学習やトレーニングでは常に両方を刺激することを意識した課題を設定すべきであると言えよう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 榎本靖士、杉本和那美 (2010) 神経-筋機能からみた小学生児童の跳躍能力の発達。陸上競技研究、査読有

[学会発表] (計3件)

- ① 榎本靖士、杉本和那美：跳躍動作にみられる小学生児童の体力の発達。第139回京都体育学会（京都教育大学）：2010年3月。
- ② 杉本和那美、榎本靖士：小学生児童のランニングジャンプにみられる下肢の神経-筋機能の発達。第139回京都体育学会

(京都教育大学)：2010年3月。

- ③ K. Sugimoto, Y. Enomoto: Development of neuro-muscular function of lower limb in running jump for children. XXIIInd Congress of the International Society of Biomechanics : Cape Town, South Africa : 2009, 7.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榎本 靖士 (ENOMOTO YASUSHI)
京都教育大学・教育学部・准教授
研究者番号：90379058

(2) 研究協力者

杉本 和那美 (SUGIMOTO KANAMI)
京都教育大学大学院・教育学研究科教科教育専攻保健体育専修・学生