

2024年3月14日

## 体力・ジャンプ着地動作パターン測定事業 「報告」

(一財) 北海道バスケットボール協会 スポーツ医科学委員会  
GM 齋藤範之  
委員長 金子知

標記事業の実施概要をご報告致します。

本事業は、強化・育成委員会の強化・育成をサポートする事業としてジュニア層の選手を対象に体力測定等を実施いたしました。

尚、測定結果、データの収集及び解析を試みた結果、別紙「第一報」を添付し、報告いたします。

これまで3年間にわたり北海道バスケットボール協会に所属する431名の小中学生選手とその指導者の協力のもと、バスケットボールに必要な体力要素の測定、およびバスケットボールで発生しやすい外傷・障害に関連するジャンプ着地動作パターンの解析を行ってきました。

さらに、本事業では、測定時点での解析のみならず、測定結果の経時的変化を調査し、年齢とともに動作パターン等がどのように変化していくか、さらには、体力要素や動作パターンがその後の成績や外傷・障害発生とどのように関連しているかを検討し、今後の選手に適切な障害予防となるプラン検討、作成し広く伝達していくことを重要な目的と考えています。ジュニア期の動作がその後の選手のパフォーマンスに与える影響が大きいと思われるため、今後も地区協会、U12、U15部会の協力をいただきながらジュニア層の選手を中心にスポーツ医科学委員会として発信していきたいと思っております。

本活動にご協力いただいた選手、コーチ、講師の皆さん各位に対し、心より感謝申し上げます。

# 体力・ジャンプ着地動作パターン測定事業報告 ～第一報～

(一財) 北海道バスケットボール協会 スポーツ医科学委員会  
トレーナーグループ 松本尚, 井野拓実, 石田知也, 鈴木信  
ドクターグループ 青木喜満, 金子知, 阿部里見, 徳廣聡

## 1. はじめに

本事業は、北海道における小学生・中学生選手を対象として、外傷・障害予防のカリキュラム等の作成とその醸成に取り組むとともに、北海道バスケットボール協会の強化・育成委員会の技術力・競技力向上へのサポート事業として実施したものである。バスケットボールに必要な体力要素の測定、およびバスケットボールで発生しやすい外傷・障害と関連するジャンプ着地動作パターンの調査を行い、選手に対して各チームの平均値や過去に報告された同世代の国内トップ選手との結果の比較についてフィードバックした。さらに、本事業では、測定時点での検討（横断的検討）のみならず、測定結果の経時的変化（縦断的検討）を調査し、年齢とともに体力要素や動作パターンがどのように変化していくか、さらには、体力要素や動作パターンがその後の成績や外傷・障害発生とどのように関係しているかを検討し、未来の選手たちの競技力向上に貢献していくことも重要な目的としている。今回は第一報として、体力測定とジャンプ着地動作パターンの横断的検討の結果を報告する。

## 2. 対象

体力・ジャンプ着地動作パターン測定は、2017年1月から2019年8月の期間で全4回実施した（表1）。北海道バスケットボール協会ホームページにてチーム単位での募集を行い、応募があったチームに所属する小学5年生から中学3年生、延べ431名（男子165名、女子266名、平均年齢11.6±1.2歳）の測定を行った（表1）。学年別の人数は小学5年生125名、小学6年生168名、中学1年生68名、中学2年生64名、中学3年生6名であった。この内、ビデオ撮影によるジャンプ着地動作解析についてはデータの不備がなかった393名（男子148名、女子245名）を対象とした。

表1 体力・ジャンプ着地動作パターン測定事業の日程と参加数

	第1回	第2回	第3回	第4回
実施日	2017年1月	2017年9月	2018年8月	2019年8月
会場	北海道科学大	北海道科学大	北海道科学大	有朋高校
参加人数	125	105	104	97
男子	38	41	45	41
女子	87	64	59	56

## 3. 測定項目と検討内容

測定項目は、一般情報、身体機能、ジャンプ着地動作パターンとした。一般情報では、年齢（学年）、身長、体重を調査した。身体機能では、バスケットボール競技に関連すると考えられるパワー（瞬発力）、

スピード、切り返し能力、持久力を測定した。パワーの指標として垂直跳びと立ち幅跳び、スピードの指標として 20m 走、切り返し動作能力の指標としてフロアジリティテスト、持久力の指標としてシャトルランテストまたはヨーヨーテスト (Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1) を実施した。ジャンプ着地動作パターンの測定では、バスケットボールにおける外傷・障害と関連する評価として、ドロップジャンプテストを実施した<sup>1,2)</sup>。ドロップジャンプテストは、31cm 台から両脚で前方に降りた後に直ちに最大垂直跳びを行う動作で、着地からジャンプ動作をする際の下肢および体幹の姿勢 (アライメント) を評価するテストバッテリー<sup>3)</sup>としてバスケットボールなどジャンプ動作を頻繁に実施する競技において重要な動作評価の一つとされている (図 1)。ドロップジャンプテストでの下肢および体幹のアライメント不良は、バスケットボールにおいて頻発し、さらに重症度が高い外傷の一つである膝の前十字靭帯損傷発生と関連すると報告されており、特に、着地時の膝関節外反 (膝が内側に入る動き) や体幹の側方傾斜は前十字靭帯損傷の危険因子として知られている<sup>4,6)</sup>。ドロップジャンプテストでの評価は、前方および側方から 2 台のビデオカメラにて撮影した映像を用い、姿勢推定人工知能 (AI) にて解析し各関節の角度を算出した<sup>7,8)</sup>。

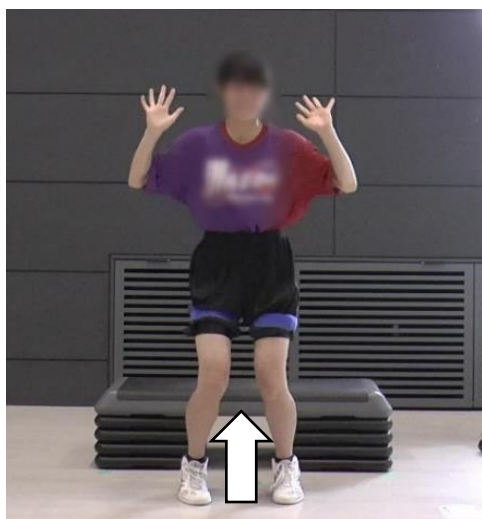


図 1 ドロップジャンプテスト

31cm 台から両脚で前方に降りた後に直ちに最大垂直跳びを行う

上記のドロップジャンプテスト評価項目の中から、膝関節外反角度および体幹傾斜角度を算出した (図 2)。なお、ドロップジャンプテストの評価は成功施行 3 回の平均値を算出した。さらに膝関節外反角度は左右のうち、大きい角度を代表値とし、体幹傾斜角度は絶対値として、すなわち左右どちらに傾いても正の値として算出した。以上より、ジュニア世代でのジャンプ着地動作の特徴に関して、男女間の差および着地パターンの違いを中心に検討した。

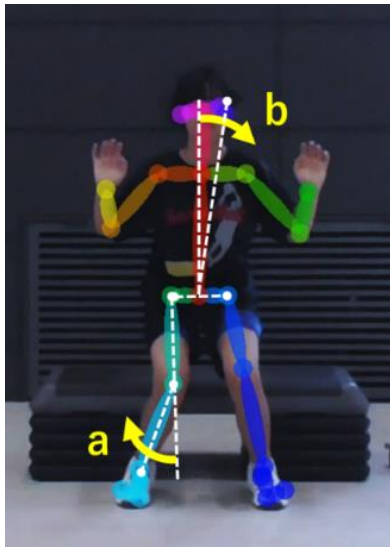


図2 ドロップジャンプテストにおける膝関節外反角度 (a) および体幹傾斜角度 (b) の評価

a: 股関節と膝関節を結ぶ直線と、膝関節と足関節を結ぶ直線がなす角

b: 両股関節を結ぶ直線に対する垂線と、両股関節の midpoint と両肩関節の midpoint を結ぶ直線がなす角

## 4. 測定結果

### 4-1. 体力測定結果

性別、学年別の体力測定の結果を巻末の表2および表3に示す。対象者の数が少ない学年があるものの、学年が上がるにつれパワー、スピード、繰り返し能力、持久力が向上している傾向にあった。

### 4-2. ジャンプ動作パターン評価の結果

#### 4-2-1. 男女間の比較

##### ① 膝外反角度

接地時（床に足が着いた瞬間）の膝外反角度の平均は、男子  $1.5^{\circ}$ 、女子  $2.7^{\circ}$  であった。着地相（接地から体重心最下点まで）での膝外反角度の最大値は、男子  $11.3^{\circ}$ 、女子  $16.1^{\circ}$  で女子は膝外反角度が大きかった。また、着地相での膝外反角度の変化量は、男子が  $5.2^{\circ}$ 、女子が  $11.4^{\circ}$  で、女子は着地時に膝外反方向への動きが大きくなっていた（図3）。

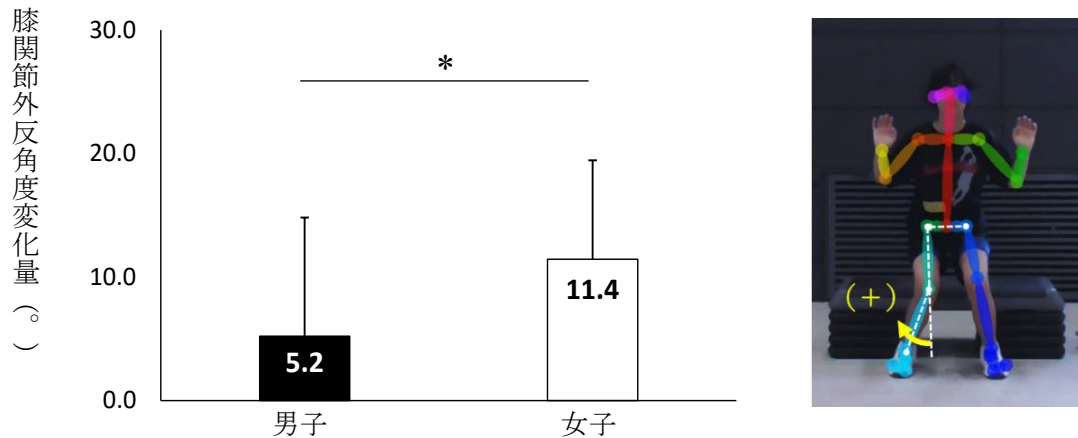


図3 着地相（接地から体重心最下点まで）における膝外反角度の変化量

\* $P < 0.001$  by student-t test

② 大きな膝外反を呈する選手の割合

過去の研究<sup>1)</sup>において2年以内に前十字靭帯損傷を受傷した選手の平均外反角度（接地時 $5^{\circ}$ ，最大値 $9^{\circ}$ ）を基準としてそれより大きな値を大きな外反と定義し，大きな膝外反を呈している選手の割合を算出した．その結果，接地時に大きな膝外反を示した選手は男子21.6%，女子24.5%，最大値では男子51.3%，女子75.0%であり，男女共に高い割合であったが，特に女子の割合が高かった（図4）．

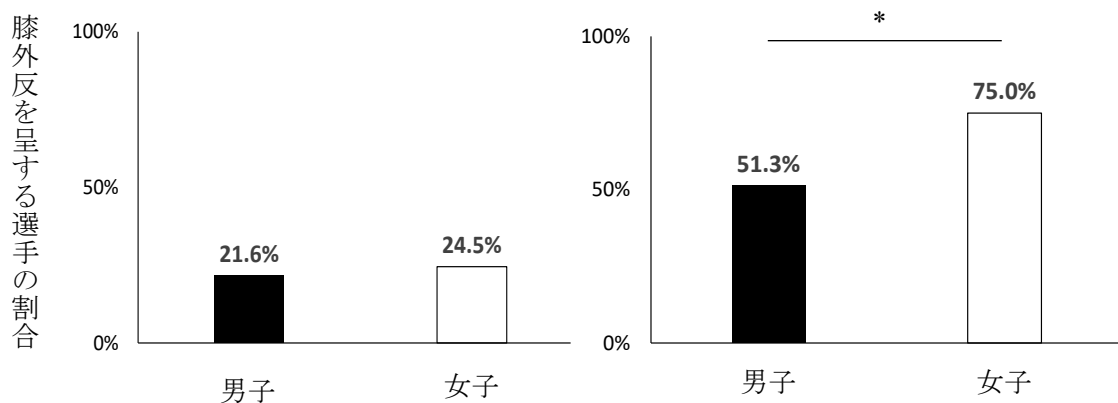


図4 着地動作中において大きな膝外反を呈している選手の割合

右：接地時，左：最大値

\* $P < 0.001$  by  $\chi^2$ -test

③ 体幹側方傾斜角度および側方傾斜を呈する選手の割合

着地相での体幹側方傾斜角度の最大値の平均は，男子で $3.3^{\circ}$ ，女子で $3.0^{\circ}$ であった．体幹側方傾斜角度の基準値を $5^{\circ}$ として，基準値を超えて身体を側方に傾斜して着地している選手の割合を算出した．体幹側方傾斜を呈する選手は，男子で17.8%，女子で14.9%であった．側方傾斜に関しては，最大値，存在率とも男女間の差を認めなかった．

#### 4-2-2. 接地パターンに関して

##### ① 両脚または片脚着地

接地パターンは、両脚同時に着地していた選手が全体の 74%で、どちらかの足が先に着地していた選手が 26%であり、4人に1人が左右非対称の着地パターンを呈していた(図5)。さらに片脚着地の選手は両脚着地の選手と比べ、着地動作中の膝外反角度変化量が大きかった(図5)。

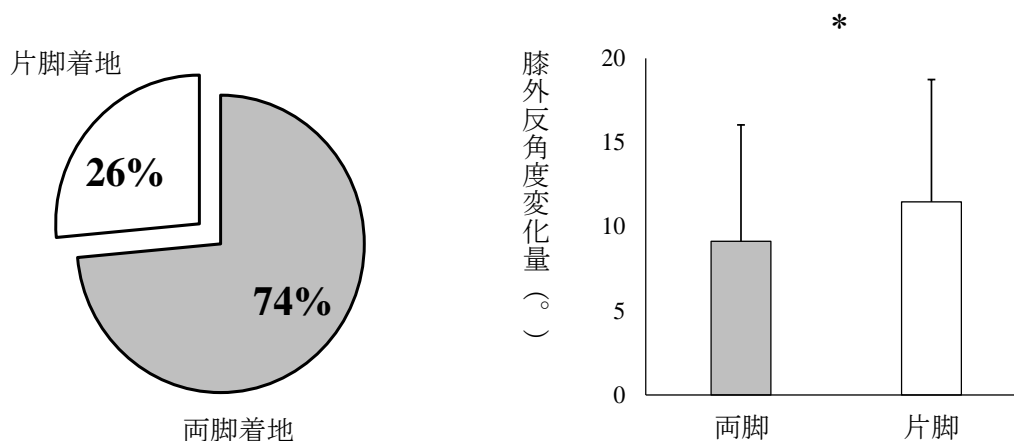


図5 着地動作における接地パターンの違い

左：両脚着地と片脚着地の割合

右：両脚着地と片脚着地における膝外反角度変化量

\*:  $P < 0.05$  by student-t test

##### ② 着地時間と膝外反角度の関係

着地からジャンプまでの時間(接地時間)と、重心が一番低くなった時の膝外反角度の関係を検討した。その結果、接地時間と膝外反角度に有意な負の相関関係があり、接地時間が短いほど膝外反角度が大きい特徴が明らかとなった(Pearsonの積率相関係数  $r = -0.225$ ,  $P < 0.001$ )。

## 5. 考察

今回は、本事業の第一報として、体力測定結果の性別、学年別の結果を示した。限られたチーム数のデータではあるが、学年が上がるにつれ体力測定結果が向上している傾向が見られた。今後は、さらにデータを蓄積していくことによって、各学年における体力レベルや発達、トレーニング目標などの指標として有用となると考えられる。最終的には、各学年の平均値や目標値を提示し、各チームでの体力測定の実施へとつなげることで、競技力の向上に繋がることが期待される。

次に、ビデオ映像分析による着地動作パターンの横断的検討を行った。具体的には、膝の前十字靭帯損傷をはじめとする下肢のスポーツ外傷・障害との関連が報告されているドロップジャンプテストの動作パターンに関して、男女間の差および動作の対称性に焦点を当てて検討した。以下はこのテーマについて詳述する。

着地動作時の膝関節外反角度に関しては、女子は男子と比較し、接地時および最大角度とも大きい結果であった。また、着地相で大きな膝外反を呈していたのは、男子で約半数、女子で4人に3人の割合

で発生していた。バスケットボールでの代表的なスポーツ外傷として膝の前十字靭帯損傷があり、危険因子としてジャンプ着地時の大きな膝外反が報告されている<sup>9)</sup>。前十字靭帯損傷の好発年齢は、10代中頃から20代前半との報告が多く<sup>9)</sup>、女性の発生リスクが高いことがわかっている<sup>10)</sup>。今回の対象年齢は10代前半であり、前十字靭帯損傷の一般的な好発年齢より若年であるが、すでに潜在的リスクを有しており、ジュニア期でも女子選手の方が高いリスクを有していると考えられる。大きな膝外反位の着地は、前十字靭帯損傷のみならず、半月板損傷などの外傷や、鷲足炎・膝蓋腱炎などの様々な膝関節の障害発生とも関連する可能性がある。さらに、大きな膝外反での動作はストレートな姿勢での動作と比較し、パワー伝達において非効率的であり、パフォーマンスへの悪影響も考えられる。

着地相での体幹側方傾斜を呈する選手の割合は男女とも15%前後であった。体幹側方傾斜の存在は、重心の偏位を表しており、一方の下肢への負担が大きくなることが予想され、前十字靭帯損傷との関連も報告されている<sup>14)</sup>。また、体幹の側方傾斜姿勢での着地は、その後の動作にも影響しパフォーマンスの低下に繋がると考えられる。

ジュニア期から正しい姿勢での動作を獲得することは、その後の外傷・障害を予防し、パフォーマンスを向上させるために重要であると考えられ、前述のような不良姿勢でのジャンプ着地動作は早期に改善することが望ましい。

ドロップジャンプテストは、両脚着地をするように指示して実施しているが、実際に両脚で着地していたのは74%で、4人に1人が一方の足を先に接地させる左右非対称な着地を行っていた。左右非対称での動作は、体幹側方傾斜と同様に一方の下肢への負担が大きくなり、前十字靭帯損傷などの外傷発生のリスクが高くなることが予想される。また、バスケットボールではジャンプ動作を頻繁に行うため、1回の負担増加は軽微だとしても、非対称的な動作の繰り返しにより、オーバーユース障害にも繋がる可能性がある。

ドロップジャンプテストの接地時間と膝外反角度に関しては、接地時間が短いほど膝外反角度が大きい結果となった。着地時の接地時間は衝撃吸収の程度を示しており、着地時の接地時間が長いソフトランディングの方が膝外反角度は小さくなる結果であった。しかし、バスケットボールではリバウンドなどジャンプ着地時に接地時間の短いジャンプが必要な場面も多いため、ソフトランディングの指導だけでなく、短い接地時間でも安全な動作を行えるようなジャンプトレーニングが必要であると考えられる。

## 今後について

第一報では、体力測定の結果を整理すると共に、ジャンプ着地動作の横断的検討を実施した。これにより小学生・中学生バスケットボール選手におけるいくつかの動作の特徴が明らかになった。今後は、参加人数を増やし、年代別の体力測定結果の蓄積、動作パターンの特徴の検討、さらには体力測定結果と動作パターンの関連について検討を進めていきたい。また、体力測定結果と動作パターンの経時的変化や、その後の外傷・障害発生を調査し、ジュニア期の体力、動作パターンがその後の外傷・障害発生とどのように関係するかを調査し、外傷・障害予防、競技力向上に役立てていきたい。

## 謝辞

本事業を企画、実施するにあたり、ご協力およびご助言いただきました、株式会社ルシファ（現、トレリハ）および解析にご尽力いただいた北海道科学大学保健医療学部理学療法学科のスポーツサイエンス・グループの学生、南大貴氏、藤田向陽氏、塩原健人氏、小笠原翠海氏に感謝申し上げます。

## 参加協力チーム

### 女子チーム

開成中等学校、北野中学校、啓明中学校、向陵中学校、滝川江陵中学校、稲陵中学校、苫小牧緑陵中学校、野幌中学校、八軒中学校、平岸中学校、富良野東中学校、星置中学校、前田中学校、前田北中学校、余市旭中学校、稚内潮見が丘中学校

稲積ミニバスケットボール少年団、江別バスケットボール少年団、札幌和光ミニバス、士別女子ミニバスケットボール少年団、澄川南ミニバスケットボール少年団、滝川東小ミニバスケットボール部、滝川第二小学校、手稲鉄北ミニバスケットボール、ドリームキッズ、発寒東ミニバスケットボール少年団、八軒ミニバスケットボールクラブ、東山ミラクルズ、伏古女子ミニバスケットボール少年団、北光ミニバスケットボール少年団、前田中央ミニバス少年団、マジカルキッズ、余市小、余市ミニバスケットボール少年団 B-DASH、稚内潮見が丘小学校

### 男子チーム

前田中学校、余市旭中学校

札苗ミニバス少年団、札苗北バスケットボール少年団、士別男子ミニバスケットボール少年団、手稲鉄北ミニバスケットボール少年団、苫小牧明野小、ドリームキッズ、西岡北ビッグウェーブミニバス少年団、発寒東ミニバスケットボール少年団、羊丘ミニバスケットボール少年団、北光ミニバスケットボール少年団、余市ミニバスケットボール少年団 B-DASH、レバンガ北海道アカデミー

以上各チームには感謝申し上げます

## 引用文献

1. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):492-501.
2. Ishida T, Samukawa M, Suzuki M, Matsumoto H, Ito Y, Sakashita M, et al. Improvements in asymmetry in knee flexion motion during landing are associated with the postoperative period and quadriceps strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *Res Sports Med.* 2023;31(3):285-95.
3. Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Reliability of landing 3D motion analysis: implications for longitudinal analyses. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(11):2021-8.
4. Hewett TE, Torg JS, Boden BP. Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the



injury mechanism. *Br J Sports Med.* 2009;43(6):417-422.

5. Koga H, Nakamae A, Shima Y, et al. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med.* 2010;38(11):2218-2225.
6. Hewett TE, Ford KR, Hoogenboom BJ, Myer GD. Understanding and preventing acl injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations - update 2010. *N Am J Sports Phys Ther.* 2010;5(4):234-51.
7. Cao Z, Hidalgo G, Simon T, Wei SE, Sheikh Y. OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell.* 2021;43(1):172-86.
8. Ino T, Samukawa M, Ishida T, Wada N, Koshino Y, Kasahara S, et al. Validity of AI-Based Gait Analysis for Simultaneous Measurement of Bilateral Lower Limb Kinematics Using a Single Video Camera. *Sensors (Basel).* 2023;23(24).
9. Sanders TL, Maradit Kremers H, Bryan AJ, et al. Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *Am J Sports Med.* 2016;44(6):1502-1507.
10. Stanley LE, Kerr ZY, Dompier TP, Padua DA. Sex Differences in the Incidence of Anterior Cruciate Ligament, Medial Collateral Ligament, and Meniscal Injuries in Collegiate and High School Sports: 2009-2010 Through 2013-2014. *Am J Sports Med.* 2016;44(6):1565-1572.

表2 小学生の測定結果

		小学5年生	小学6年生
男子	人数 (名)	67	79
	身長 (cm)	141.9±7.0 [126.2 – 158.0]	149.9±8.3 [131.7 – 168.0]
	体重 (kg)	34.0±5.4 [25.0 – 48.9]	39.5±6.8 [25.0 – 65.0]
	20m 走 (秒)	3.9±0.2 [3.4 – 4.6]	3.7±0.2 [3.2 – 4.3]
	プロアジリティ (秒)	6.0±0.4 [5.3 – 7.2]	5.8±0.3 [5.3 – 6.4]
	立ち幅跳び (cm)	163.7±17.5 [121 – 202]	175.1±17.4 [135 – 215]
	垂直跳び (cm)	36.9±5.8 [21 – 48]	40.6±6.0 [24 – 55]
	シャトルランテスト (回)	77.1±17.3 [50 – 109]	86.4±21.7 [46 – 131]
	ヨーヨーテスト (m)	809.6±401.8 [160 – 1600]	977.5±450.9 [280 – 2120]
	女子	人数 (名)	58
身長 (cm)		144.7±7.2 [131.0 – 160.0]	151.2±7.5 [135.1 – 167.8]
体重 (kg)		37.5±7.0 [23.7 – 52.8]	40.8±8.3 [26.5 – 65.0]
20m 走 (秒)		3.8±0.2 [3.3 – 4.5]	3.7±0.3 [3.2 – 5.0]
プロアジリティ (秒)		6.0±0.3 [5.4 – 6.7]	5.8±0.3 [5.3 – 7.1]
立ち幅跳び (cm)		161.5±15.9 [121 – 189]	172.2±17.3 [118 – 210]
垂直跳び (cm)		33.6±5.3 [20 – 46]	37.3±5.7 [22 – 52]
シャトルランテスト (回)		82.3±28.3 [53 – 118]	83.9±15.8 [59 – 114]
ヨーヨーテスト (m)		632.6±264.0 [200 – 1320]	712.2±334.1 [160 – 1440]

平均値±1標準偏差 [最小値 – 最大値]

シャトルランテスト：小5男子，17名；小6男子，21名；小5女子，4名；小6女子，54名

ヨーヨーテスト：小5男子，50名；小6男子，57名；小5女子，38名；小6女子，51名

表3 中学生の測定結果

		中学1年生	中学2年生	中学3年生
男子	人数(名)	10	8	1
	身長(cm)	155.9±7.1 [141.6 - 167.2]	164.6±6.1 [159.3 - 176.7]	
	体重(kg)	47.3±7.3 [34.0 - 60.4]	54.1±8.9 [45.7 - 69.1]	
	20m走(秒)	3.4±0.2 [3.0 - 3.7]	3.3±0.2 [3.1 - 3.8]	
	プロアジリティ(秒)	5.6±0.3 [5.1 - 6.0]	5.6±0.4 [5.1 - 6.3]	
	立ち幅跳び(cm)	186.3±40.2 [88 - 223]	189.5±23.9 [142 - 223]	
	垂直跳び(cm)	40.7±8.9 [25 - 53]	43.9±7.8 [31 - 52]	
	シャトルランテスト(回)	—	—	
	ヨーヨーテスト(m)	768.0±314.3 [360 - 1280]	952.5±413.8 [240 - 1560]	
女子	人数(名)	58	56	5
	身長(cm)	155.4±6.0 [140.2 - 167.4]	157.0±3.8 [149.1 - 168.0]	159.3±3.6 [154.9 - 164.6]
	体重(kg)	44.6±5.9 [30.1 - 57.4]	47.6±4.4 [44.0 - 56.7]	53.2±6.5 [46.0 - 63.8]
	20m走(秒)	3.6±0.2 [3.3 - 4.2]	3.5±0.2 [3.1 - 4.0]	3.6±0.3 [3.3 - 4.0]
	プロアジリティ(秒)	5.7±0.4 [4.3 - 6.8]	5.6±0.3 [5.0 - 6.6]	5.5±0.1 [5.4 - 5.7]
	立ち幅跳び(cm)	175.8±17.6 [141 - 215]	179.9±15.2 [147 - 213]	185.8±21.6 [153 - 206]
	垂直跳び(cm)	37.8±5.5 [28 - 50]	40.3±5.2 [28 - 52]	40.0±7.4 [31 - 49]
	シャトルランテスト(回)	84.0±17.9 [60 - 114]	81.3±12.2 [59 - 102]	—
	ヨーヨーテスト(m)	811.4±376.8 [360 - 1760]	937.5±302.6 [520 - 1640]	1040.0±213.5 [880 - 1400]

平均値±1標準偏差 [最小値 - 最大値]

シャトルランテスト：中1女子，22名；中2女子，23名

ヨーヨーテスト：：中1女子，35名；中2女子，32名

中学3年生男子は1名のため未掲載