

スマートウォッチを用いた球速測定システムを活用した投運動の練習効果

Effectiveness of Throwing Exercise Practice Using a Smartwatch-based Throw Speed Measurement System

本山 清喬¹ 元嶋 菜美香² 下川 俊彦³

概要：

本研究の目的は、スマートウォッチの加速度センサーを活用した「スピードバンド」の投球練習における有効性を検討することである。さらに、大学の一般体育授業における「スピードバンド」を用いた投球練習が、運動能力の感覚や体育の苦手意識に変化をもたらすかどうかを検討した。この研究対象者は健康な大学生 [スピードバンドグループ (n = 58)、キャッチボールグループ (n = 52)、コントロールグループ (n = 48)] であった。

結果は以下の通りでした。

- 1) 「スピードバンド」を使用したキャッチボール練習により、腕の振りを速くする効果が認められた。
- 2) 「スピードバンド」を使ったキャッチボール練習により、体育に対する意識の向上が認められた。

これらの結果は、体育の授業における「スピードバンド」を使った投球練習が投球能力の向上に効果があり、体育の苦手意識に影響を与えていることを示唆している。

Abstract：

The purpose of this study was to examine the effectiveness of a “speed band” utilizing the acceleration sensor of a smartwatch in throwing practice. Furthermore, whether or not the practice of throwing using the “speed band” in a general physical education class at a university would bring about changes in the sense of athletic ability and the perception of difficulty in physical education was examined. The study subjects were healthy college students [speed band group (n = 58), catch ball group (n = 52), control group (n = 48)].

Results were as follows.

- 1) Catch-ball practice using the “speed band” was found to speed up the swing of the arm.
- 2) An increase in awareness of physical education was observed through catch-ball practice using the “speed band.”

These results suggest that the practice of throwing using the “speed band” in physical education

¹ 健康・スポーツ科学センター 助教

² 健康・スポーツ科学センター 講師

³ 理工学部 情報科学科 教授

classes is effective in improving throwing ability and influences the students' awareness of their difficulties in physical education.

キーワード：投能力，スマートウォッチ，球速測定，スポーツバイオメカニクス，体育授業への苦手意識

Keywords：Throwing ability, smartwatch, ball velocity measurement, sports biomechanics, perceptions of difficulty in physical education

1 研究の背景と目的

投運動は基本的な運動の1つであるが、「歩く」、「走る」といった運動を比べて後天的に獲得される。また、投運動の上達には投げる経験を積み重ねることが必要^[22, 28]と指摘があり、様々な年代において投球練習が遠投距離を改善させた報告は多数存在する^[13, 21, 24, 29]ことから、投球練習によって遠投能力改善の余地がある。遠投距離を最大にするための適切な投射角度が存在するため、適切な投射角度で投げる指導が重要であると指摘される^[8, 21]。投射角度を高くする運動を実施した場合、即時的に遠投距離を改善させたという報告^[7]もある。その一方で、遠投能力の向上にはボール速度の増大も影響するが、遠投距離とは異なり運動実践者がボール速度の高低を実感することは難しい。藤井ほか^[3]は大学生ピッチャーにリリース時に発声するよう指導し、蔭山と前田^[11]は小学生ピッチャーに真下投げトレーニングを実施させ、それぞれ即時的にボール速度の増大が報告された。また、短期間のレジスタンストレーニング^[4]やプライオメトリクストレーニング^[2]がボール速度を高めた報告もある。しかしながら、キャッチボール練習のような一般的な練習方法を効果的にする手段は検討されていない。

ボール速度の測定方法は、ドップラーの原理を利用したスピードガンが一般的である。しかし、精度の高いスピードガンは非常に高価であることやスピードガンを無線標的移動局として無線局免許の申請が必要であるため、大学体育に限らず、小学校などの学校体育で用いられることはまれである。野球の投手が捕手に投球する場合、投手もしくは捕手の後方で計測することが適しているが、1塁側など投球方向から大きくずれた方向から計測することはできない。また、遠投は全ての投球を同じ投射角にすることは難しく、投射角のばらつきがあると測定したボール速度に誤差が生じる。村上ほか^[19]はスマートウォッチを用いた球速測定システム「スピードバンド」を開発した。「スピードバンド」は投球腕の手首に装着したスマートウォッチの加速度センサーを活用し、ボールの重量、手長および加速度センサーの測定値からボール速度を推定する球速測定システムである。「スピードバンド」の特徴は投球環境である投球方向や投射角度に関わらず計測が実施でき、昨今普及が進むスマートウォッチにインストールすることができれば、より多人数を計測が可能である。ボール速度計測の信頼性は水平に投球した場合、スピードガン（mizuno社製，HP-2）の信頼性（ $R = 0.99$ ）と比較して、「スピードバンド」の信頼性（ $R = 0.84$ ）は低く、

ボール速度とスピードバンドに表示されるボール速度の間に正比例の関係性はない。しかしながら、同一投球者に対する投球速度の計測値における再現性 ($R = 0.99$) は非常に高く、ボール速度とスピードバンドに表示されるボール速度の間に比例関係があるため、個人内の速度の優劣を判断するツールとして活用可能である。「スピードバンド」を着用することで毎回の投球後にボール速度のフィードバックを行うことができる。投球練習で即時的なボール速度の高低を表示するフィードバックは、直前のパフォーマンスの評価が可能となる。したがって、練習時においてボール速度の即時フィードバックがキャッチボールの練習効果を高めることができると仮説を立てた。また、伊藤^[10]は原因帰属が身体的有能さの認知に影響を及ぼすことを示しており、投球練習（原因）に対して、仮に「スピードバンド」が提示するボール速度の増大（原因帰属事態）が発生したとしたら、投運動や体育に対する有能さの向上や苦手意識の改善に影響を及ぼす可能性がある。

本研究の目的は「スピードバンド」を使用時のキャッチボール練習の効果を明らかにすることである。なお、本研究は大学体育の授業の一環で行うため、遠投能力の変化や投球練習に伴う体育授業への苦手意識の変化を検討する。

2 方法

2.1 研究参加者および使用するボールの特徴

研究参加者は、K 大学に所属する体育を専門としない男子大学生 108 名、女子大学生 50 名であった（年齢 18.8 ± 0.9 歳；身長 166.8 ± 8.4 m；体重 62.0 ± 13.4 kg）。研究参加者は右投げ、左投げともに存在したが、左投げの場合は左右方向を反転させることで、右投げと同様に分析した。そのため、以下の投球腕は右腕として示す。研究を開始するにあたり、すべての研究参加者に対して研究目的、方法を説明するとともに、研究参加への同意を得た。なお、本研究は、九州産業大学研究倫理委員会の承認（2020-0002）を得て行った。

握れるか否かといった手とボールの大きさが投距離に大きく影響する^[5]ことが示されているため、Motoyama et al.^[15]の方法を参考に、研究で使用するボールとしてドッジボール軽量 3 号（直径 21cm, 重量 330g）を採用した。ドッジボール軽量 3 号は、静止状態で把持することができる参加者もいたが、動的に把持しボールを制御することができる参加者はおらず、すべての参加者で握れないという条件を統制することができた。

2.2 群分けおよび実験試技

研究参加者をスピードバンド群 58 名、キャッチボール群 52 名、コントロール群 48 名の 3 群に分けて実験を行った。全ての研究参加者は Pre 測定において遠投動作の撮影およびアンケート調査を行い、2 か月後に同様の Post 測定を行った。先行研究^[18, 27]を参考として Pre 測定の映像をもとに投球練習時の課題を設定し、研究参加者それぞれの遠投能力が高まるように投球練習時のポイントを

確認した（図 1, 表 1）。なお、Pre 測定の投球動作をもとに作成した連続写真とともに課題の探索方法を示し、キャッチボール練習時に投球練習時のポイントをホワイトボードで提示した。スピードバンド群およびキャッチボール群は、1 回当たり 10 分^[21]のキャッチボール練習を 1 回 / 週 × 8 週（合計 8 回）実施した。その際、キャッチボール練習の投球数や距離を設定していないが、練習開始時は 10m 程度から投球を開始し、投球後、徐々に後退することで遠くに投げるように教示した。スマートウォッチ群は右手首に「スピードバンド」アプリケーションをインストールしたスマートウォッチを装着し、ボール速度の即時フィードバックを実施した。なお、コントロール群は、キャッチボール練習を行うことなく Post 測定を行った。



図 1 学生が投球動作の課題を検討した資料

表 1 投球練習における課題および探索方法と投球練習時のポイント

課題	課題の探索方法	投球練習のポイント
後方のため	1:重心が両脚に加わり、後方に力を溜めれない。 2:重心が後方にあるが、前に進む力になっていない。 3:テイクバック時に後方にあった重心が、腕振りに合わせて前に進む。	踏込脚接地時にボールが身体より後方にあることを確認し、腕を大きく振ること意識する。
踏込脚	1:踏込み脚を前に出すことなく、ステップがない。 2:前に移動するが、投球腕側の足を踏み出す。 3:投球腕と反対側の足を踏み出す。	投球腕と反対側の足を踏み出し重心移動を促すことを意識する。
重心移動	1:全く前に移動しない。 2:ステップ長が 0.5-1m 程度の長さ。 3:ステップ長が 1m より長い。	踏込脚を大きく踏み出し、踏み出し脚接地からリリースまでの間にボールの長く移動することを意識する。
起身体の回転	1:重心が両脚に加わり、後方に力を溜めれない。 2:重心が後方にあるが、前に進む力になっていない。 3:テイクバック時に後方にあった重心が、腕振りに合わせて前に進む。	踏出脚接地時に膝を伸ばすこと、股関節が曲がらないことを意識する。リリース時に踏出脚に乗り込むことができるかを確認する。
体幹の動き	1:体幹が常に正面を向いており、回旋しない。 2:腕振りよりも先に体幹を回旋させる。 3:腰・肩の回旋のタイミングに差があり、捻り戻しを活用して腕を振る。	体幹を一度投球方向の反対に回旋させ、腕振りに先行するように、投球後方に回旋する。体幹の動きから腕の動きに連動することを意識する。
腕振りの高さ	1:ボールが体側を通過する際、肘の高さが著しく低く、ボールが肩の高さ程度。 2:ボールが体側を通過する際、肘の高さが低く、ボールが頭の高さ程度。 3:ボールが体側を通過する際、肘が直角になり、肘が肩の高さ程度。	ボールが低い位置を通過すると、肘関節の障害リスクが高まる。ボールが頭の横を通過する際に、ガッツポーズを作るように動くことを意識する。
腕振り・スナップ	1:腕振りによってボールが力強く加速する様子がない。 2:腕振りによってボールが力強く加速するが、リリースまで力が伝わる様子がない。 3:腕振りによってボールが力強く加速し、スナップを活かしてリリースまでボールを加速させる。	腕振りを力強く行い、リリースまで指先でボールを押し出すように意識する。

2.3 測定および分析項目

Pre 測定および Post 測定は投球時のバイオメカニクス手法を用いた動作解析およびアンケート調査を実施した（図 2）。

実験試技は、2m の範囲内で右脚を軸として左脚を一步踏み込み、オーバーハンドスローを実施した。

質問内容

○この調査は、あなた自身の能力やスポーツに対する考えを尋ねるものです。

○本調査の回答内容は、授業成績とは一切関係がありません。

○一つ一つの質問には深く考えすぎず、率直に回答してください。

○本調査は複数回行われ、同一人物が回答しているか確認するために学籍番号を記入していただきます。

学籍番号は、暗号化されるため、個人が特定されることはありません。

○本調査の結果は、学術的な目的で外部に公開されます。公開の際、集計・平均化され、個人が特定されることはありません。

基本情報

氏名 ()
学籍番号 ()
年齢 (歳)
受講クラス () 曜日 () 限

I	あなた自身の能力について、どのように考えているかをお尋ねします。 下位の質問について、1から5の中で最もふさわしいと思う番号に○をつけてください。	全く 当ては まらない	ほとんど 当ては まらない	どちらと もいえな い	やや当 てはまる	非常に 当ては まる
1	他人と比べた場合、自分の運動能力は比較的高い方だ。	1	2	3	4	5
2	難しい課題を与えられても、練習をすればできるようになると思う。	1	2	3	4	5
3	以前にできなかった運動でも、今なら上手くできると思う。	1	2	3	4	5
4	他人と比べた場合、自分の動作を分析する能力は比較的高い方だ。	1	2	3	4	5
5	人並み以上に運動は上手くできる方だ。	1	2	3	4	5
6	どんなに難しい運動でも、練習をすればできると思う。	1	2	3	4	5
7	昨年の自分よりも、自信を持って運動に取り組めると思う。	1	2	3	4	5
8	人並み以上に自分の動作の分析は上手くできる方だ。	1	2	3	4	5
9	他人にとって難しい運動でも、自分は簡単にできる方だ。	1	2	3	4	5
10	自分で決めた目標ならば、その目標を達成することができると思う。	1	2	3	4	5
11	以前にできた運動は、今でもすぐにできると思う。	1	2	3	4	5
12	他人にとって難しい自分の動作の分析でも、自分は簡単にできる方だ。	1	2	3	4	5
13	競争をすると、だいたい勝つことが多い。	1	2	3	4	5
14	自分なりの目標を決めたら、あきらめずに取り組んでいけると思う。	1	2	3	4	5
15	自分の動作を分析するような課題を作成すると、だいたい人より優れていることが多い。	1	2	3	4	5

II	あなたはスポーツに取り組むときにどんな気持ちになりますか。 それぞれの質問の中で最もあてはまる番号に1つ○をつけてください。	当ては まらない	やや当 てはま らない	どちらと もいえな い	やや当 てはまる	当ては まる
1	途中であきらめなくなる。	1	2	3	4	5
2	友達の様子が気になる。	1	2	3	4	5
3	失敗が怖くなる。	1	2	3	4	5
4	自分が嫌になる。	1	2	3	4	5
5	そこから逃げたくなる。	1	2	3	4	5
6	友達と比べたくなる。	1	2	3	4	5
7	失敗を思い出す。	1	2	3	4	5
8	嫌な気持ちになる。	1	2	3	4	5
9	頑張っても無駄だと思う。	1	2	3	4	5
10	上手な子が気になる。	1	2	3	4	5
11	恥ずかしくなる。	1	2	3	4	5
12	やる気が出なくなる。	1	2	3	4	5
13	できればやりたくないと思う。	1	2	3	4	5
14	悔しくなる。	1	2	3	4	5

図2 アンケート用紙

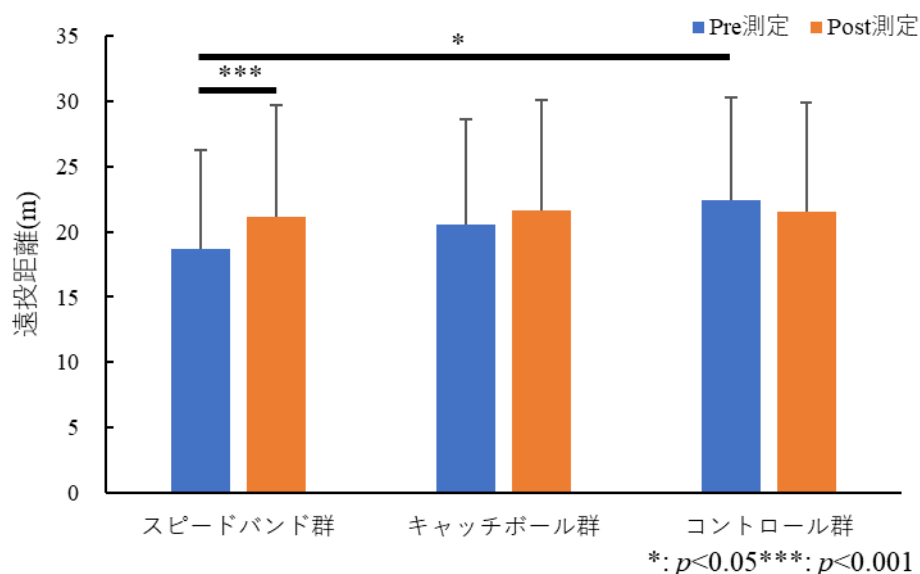


図3 遠投距離の結果

その際、研究参加者は、「全力で遠くへ投げる」という教示のもと、全力投球した。その投球動作は側方および後方のデジタルカメラ（Panasonic 社製，FZ300，240fps）を用いて撮影した。研究参加者の右手首・右肘・両肩・両大転子・両つま先・ボール中心の9点を動作解析ソフト（Q'sfix 社製，Frame-DIAS VI）を用いて、左足接地からリリースの前後10コマの範囲をデジタイズした。デジタイズした座標は、3次元DLT法に基づいて実座標に換算し、最適遮断周波数（6.0-18.2Hz）のバターワース型デジタルフィルターを用いて平滑化した^[32]。

遠投距離は、ボールの落下位置にマークを設置し、研究参加者全員の投球した後メジャーで計測した。バイオメカニク的分析項目は、先行研究^[7,13,20,24,28,31]を参考に遠投距離およびリリース時のボール速度・投射角度、右手首・右肘・右肩の最高速度、左足接地時における両大転子中点（以下腰中点とする）の速度、ボールの移動距離、肩の回旋角度範囲、体幹の前後傾角度範囲とした。なお、ボール速度、右手首・右肘・右肩の最高速度は3次元の速度を合成した値を示し、腰中点の速度は投球方向の速度と定義した。また、肩の回旋角度は水平平面上、投射角度および体幹の前後傾角度は矢状面上の角度と定義した。アンケート調査は体育授業への苦手意識の尺度を用い、体育授業への苦手意識^[12]の回避感情因子、比較感情因子、劣等感情因子、嫌悪感情因子を使用した。「1：当てはまらない～5：当てはまる」の5件法で回答を求めた。

検定には、パラメトリックの繰り返しのある二元配置分散分析〔群分け（スピードバンド群、キャッチボール群、コントロール群）×時期（pre、post）〕を行い、交互作用がみとめられた場合、post hoc test として Bonferroni 法で多重比較検定を行い、各群の時期（pre、post）および各群間で単純主効果の検定を行った。なお、有意水準は危険率5%未満とした。IBM SPSS Statistics 28.0を使用した。

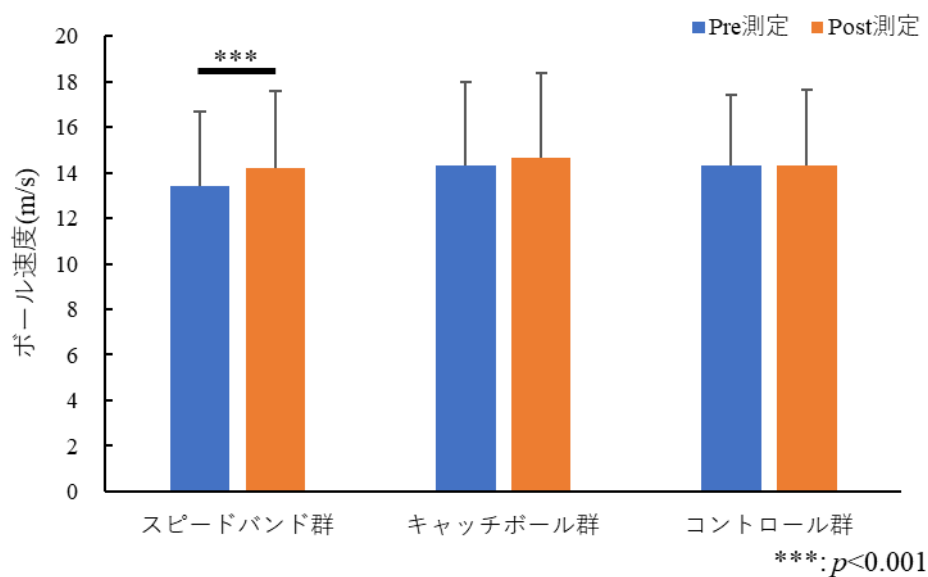


図4 ボール速度の結果

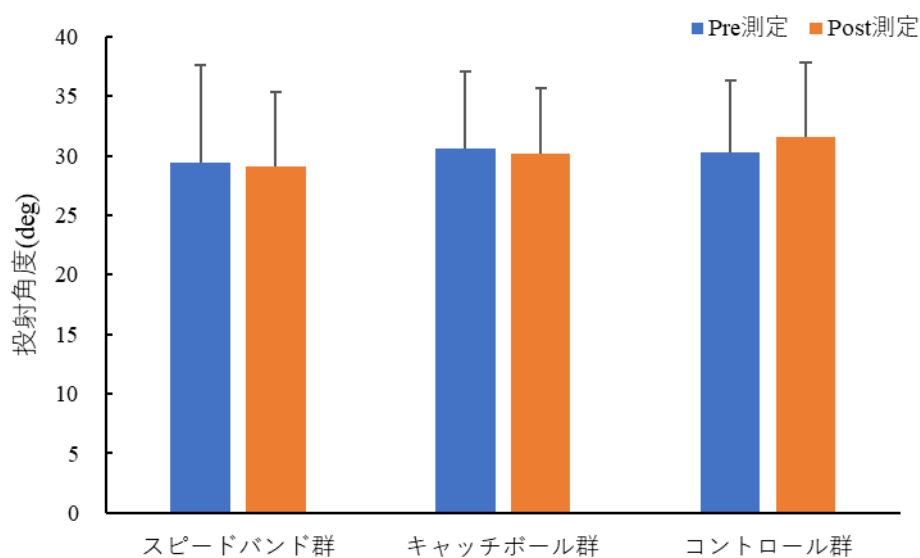


図5 投射角度の結果

3 結果

まずは、図3に示した遠投距離において有意な交互作用が確認され、($F(1,155) = 17.70$, $p < 0.001$)、単純主効果を確認した結果、スピードバンド群およびキャッチボール群においてそれぞれ遠投距離の増大に関する単純主効果が認められ (スピードバンド群: $p < 0.001$; キャッチボール群: $p < 0.01$)、キャッチボール練習前のスピードバンド群およびコントロール群の間に単純主効果が認められた ($p < 0.05$)。また、遠投距離の決定要因であるボール速度 (図4) において有意な交互作用が確認され ($F(1,155) = 5.04$, $p < 0.01$)、スピードバンド群においてボール速度増大に関する単純主効果が認められた ($p < 0.001$)。その一方、遠投距離を構成するもう一つの要素である投射角度 (図5) は群間および時期に統計的な差が認められなかった。

また、右肘の最高速度（図 7）において有意な交互作用が確認され（ $F(1,155) = 4.36, p < 0.05$ ）、スピードバンド群において右肘の速度が高くなるという単純主効果が認められた（ $p < 0.01$ ）。なお、右手首（図 6）及び右肩（図 8）の最高速度、そして左足接地時の腰中点速度（図 9）の結果は、いずれの分析項目においても交互作用および主効果に統計的な差は認められなかった。

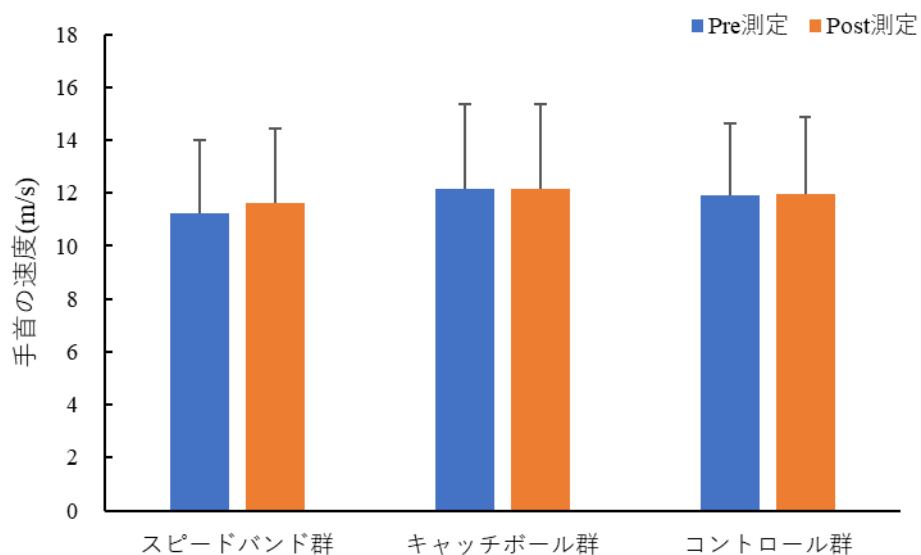


図 6 手首の速度の結果

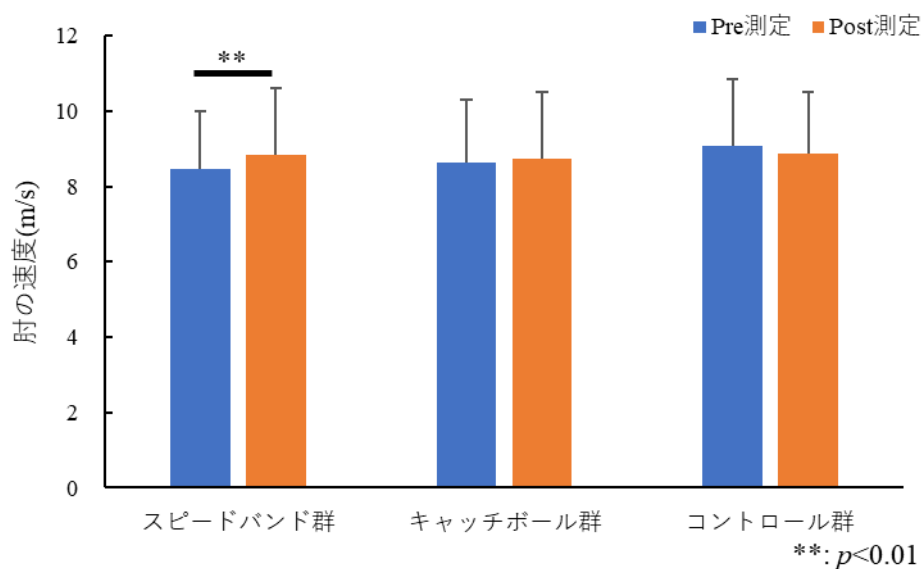


図 7 肘の速度の結果

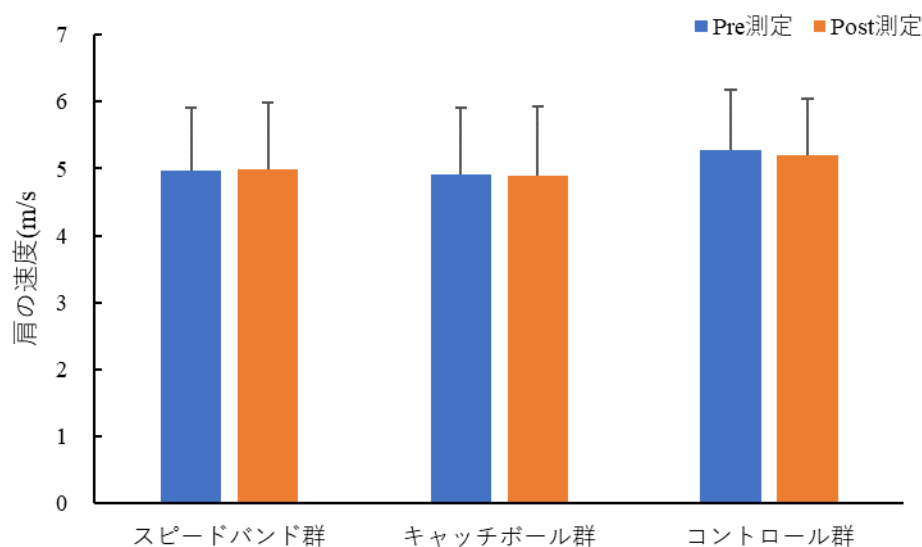


図8 肩の速度の結果

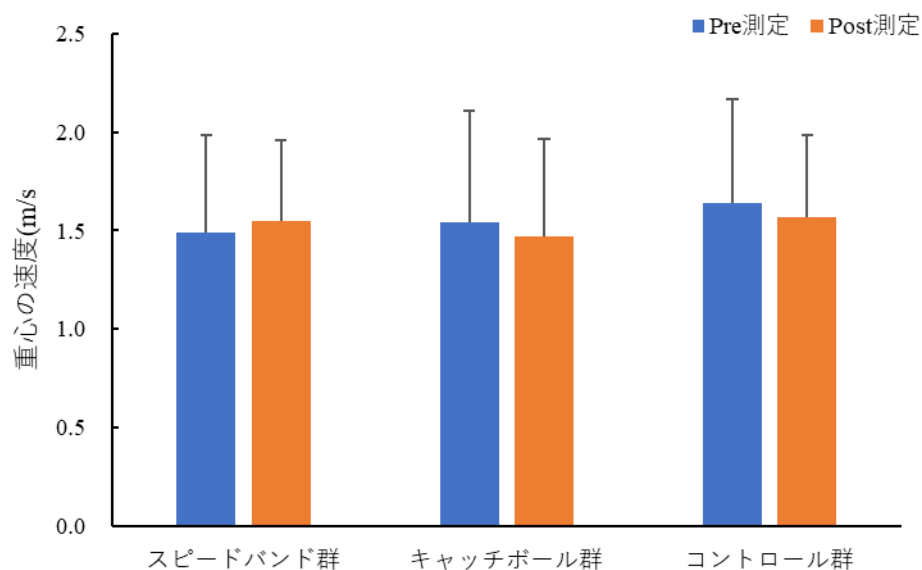


図9 重心の速度の結果

腰中点速度（図9）の結果は、いずれの分析項目においても交互作用および主効果に統計的な差は認められなかった。

そして、検討した3つの項目（図9 - 12）において交互作用および主効果において統計的な差が認められなかった。

体育授業への苦手意識尺度に関する二要因分散分析の結果（表2）、回避感情因子において有意な交互作用が確認され（ $F(1,155) = 3.34, p < 0.05$ ）、単純主効果を確認した結果、スピードバンド群のpre得点に比べpost得点が有意に低かった（ $p < 0.01$ ）。同様に、嫌悪因子において有意な交互作

用が確認され ($F(1,155) = 3.27, p < 0.05$)、単純主効果を確認した結果、スピードバンド群の pre 得点に比べ post 得点が有意に低かった ($p < 0.05$)。

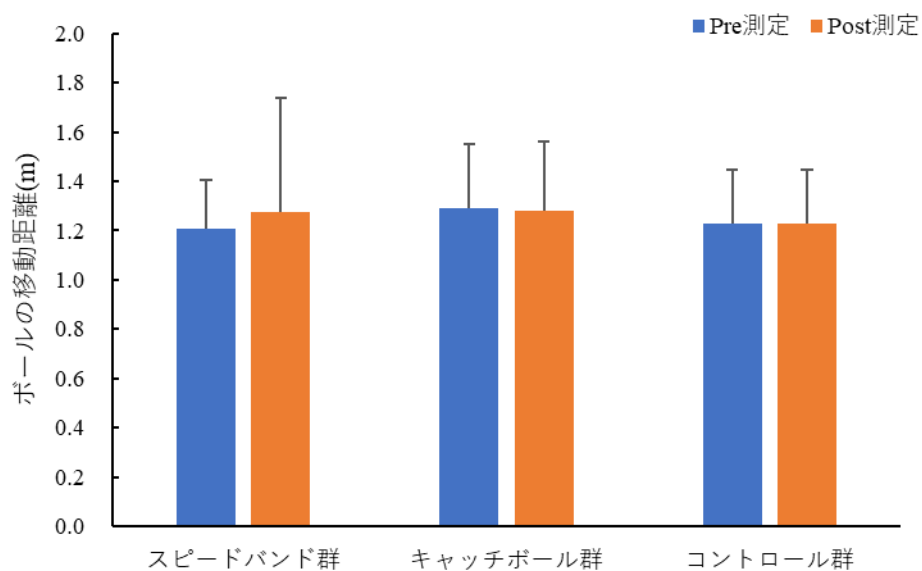


図 10 ボールの移動距離の結果

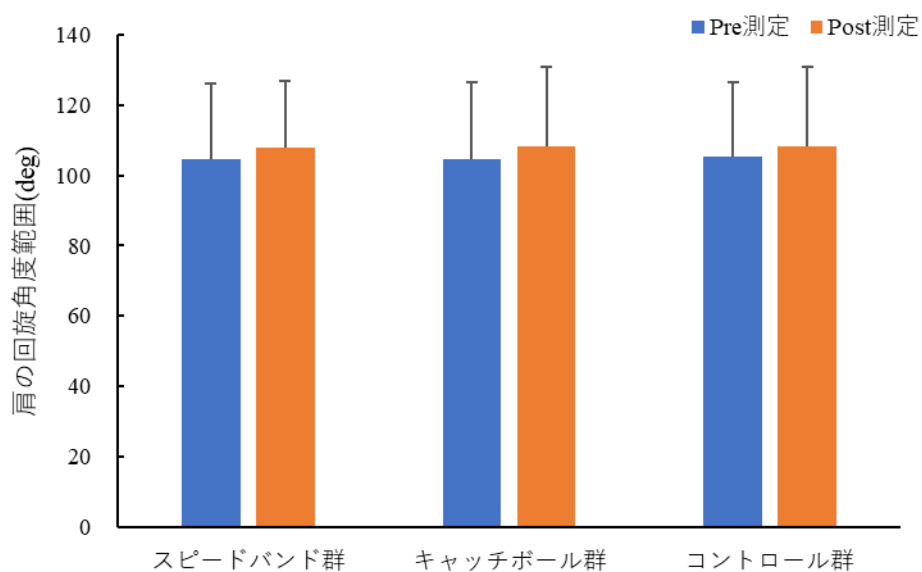


図 11 肩の回旋角度の結果

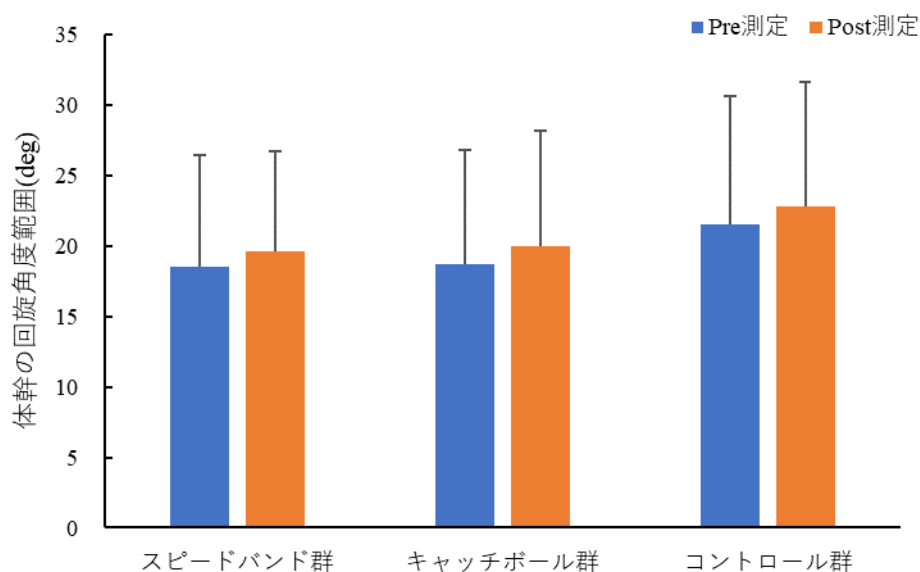


図 12 体幹の回旋角度の結果

表 2 体育授業への苦手意識尺度に関する結果

Variable		スピードハンド群		キャッチボール群		コントロール群		交互作用		群分け		時期		
		N=58		N=52		N=48								
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	F	p	F	p	F	p	
運動有能感	他者基準有能感	pre	10.16	3.61	11.58	4.33	11.54	3.74	0.28	n.s.	2.44	n.s.	18.44	< .001
		post	11.00	3.93	12.48	3.75	12.12	4.13						
	課題基準有能感	pre	13.48	2.55	14.52	2.81	14.62	3.67	0.12	n.s.	2.91	n.s.	4.85	< .05
		post	13.97	2.88	15.08	2.26	14.94	3.56						
	過去基準有能感	pre	8.50	2.34	9.19	2.74	9.35	2.50	0.91	n.s.	1.14	n.s.	21.28	< .001
		post	9.67	2.37	10.13	2.43	9.90	2.92						
	他者基準有能感 (動作分析)	pre	10.14	2.84	11.48	3.44	11.85	3.66	0.85	n.s.	4.04	< .05	22.97	< .001
		post	11.41	3.39	12.94	3.41	12.56	3.73						
	因子合計	pre	42.28	9.36	46.77	11.48	47.38	12.10	0.89	n.s.	3.40	< .05	31.84	< .001
		post	46.05	10.45	50.63	9.80	49.52	12.26						
体育授業 への苦手意識	回避感情	pre	9.14	4.02	** 8.15	3.28	8.17	3.83	3.34	< .05	0.27	n.s.	0.89	n.s.
		post	8.12	3.33	8.19	3.46	8.50	3.56						
	比較感情	pre	9.79	2.71	9.29	2.97	9.69	3.16	1.44	n.s.	0.89	n.s.	0.01	n.s.
		post	9.43	3.00	9.13	3.02	10.15	2.81						
	劣等感感情	pre	11.78	3.94	11.21	3.78	11.44	3.68	0.76	n.s.	0.62	n.s.	0.00	n.s.
		post	11.76	3.92	10.88	3.96	11.79	3.23						
	嫌悪感情	pre	7.31	2.97	* 6.65	2.75	6.50	3.16	3.27	< .05	0.16	n.s.	0.01	n.s.
		post	6.66	2.69	6.94	2.85	6.90	3.01						
	因子合計	pre	38.02	11.58	35.31	10.92	35.79	10.95	2.66	n.s.	0.44	n.s.	0.12	n.s.
		post	35.97	10.29	35.15	11.48	37.33	9.96						

**: $p < .01$, *: $p < .05$

考察

本研究の目的は、村上ほか^[19]が開発した球速測定システム「スピードバンド」装着時のキャッチボール練習の効果を検証するために、キャッチボール練習の際に「スピードバンド」を装着した際の練習前後のバイオメカニクスの分析項目および体育授業への苦手意識尺度の結果を比較した。

その結果、キャッチボール練習を実施したスピードバンド群およびキャッチボール群は遠投距離を増大させた（スピードバンド群： $p < 0.001$ キャッチボール群： $p < 0.01$ ）。スピードバンド群およびコントロール群の初期値に差が認められたことから、いずれかの群が他の群と比較して大きく遠投距離を高くすることができたかを確認することはできない。しかしながら、スピードバンド群およびキャッチボール群の遠投距離は Pre 測定と比較して Post 測定の値が高値を示したこと（スピードバンド群： $p < 0.001$; キャッチボール群： $p < 0.01$ ）は投球練習によって遠投距離を高くする先行研究^[13,21,24,29]を支持した。スピードバンド群において Pre 測定と比較して Post 測定のボール速度を増大させた（ $p < 0.001$ ）。つまり、「スピードバンド」を装着しキャッチボール練習を行うことによって、遠投時のボール速度の増大を導くことが明らかになった。これは、投球練習がボール速度を改善させた報告^[21, 24]を支持する結果といえる。その要因として、スピードバンド群は右肘の最高速度に練習効果が表れた（ $p < 0.05$ ）。これは腕振りの速度を高めたことを意味している。その一方で右肘とボールの間に位置する右手首の最高速度においては練習後の増大は認められなかった。上肢が棒のように速度を獲得した場合、右肘の最高速度が高くなれば、右手首やボールの最高速度も高くなる。しかしながら、本研究のスピードバンド群の結果は Post 測定で右手首の最高速度は増大しなかった。Pre 測定と比較して Post 測定の投球時の腕振りにおいて右肘は高い速度で動いたが、Pre 測定のような右手首の速度に達する前に腕をムチのようにしならせることで手部やボールを加速させたと推察される。

ボール速度は身体移動を基に腕を振ることによりボールを急加速させる。身体移動を評価した腰中点の速度やボールの移動距離、肩の回旋角度範囲および体幹の前後傾角度範囲はいずれの群も時期による統計的な差は認められなかった。したがって、スピードバンド群のボール及び右肘の最高速度がキャッチボール練習後に高値を示した結果は、腕を速く振ることでボール速度を獲得したと考えられる。これまでに即時的な映像フィードバックによってクラウチングスタート^[1]や鉄棒のけ上がり^[26]、スケートの片脚滑走^[30]、フライングディスクのサイドスロー^[17]においてパフォーマンスの改善が認められた。また、野球選手^[9]やテニス選手^[16]を対象として、球速や回転数、回転軸を計測し基礎的知見を得ることにより、運動実践現場への有用なデータを提供することを試みている。これらの報告は直前の球速や回転数、回転軸を評価することで練習効果を高めようとしている。本研究はフィードバック可能な情報がボール速度に限定しているものの、投運動の結果を量的に評価できる情報を即時的に提示する。そのため、球速が高くなるようにキャッチボール練習を実践したことが、ボール速度の増大に影響を及ぼしたと推察される。



図 13 スピードバンド使用時の操作画面

体育授業への苦手意識に関する調査において、回避感情因子において有意な交互作用が確認された。単純主効果を確認した結果、スピードバンド群の pre 得点に比べ post 得点が有意に低かった。なお、回避感情因子は、「途中であきらめたくなる」、「そこから逃げたくなる」、「頑張っても無駄だと思う」、「できればやりたくないと思う」という質問項目である。同様に、嫌悪因子において有意な交互作用が確認された。単純主効果を確認した結果、スピードバンド群の pre 得点に比べ post 得点が有意に低かった。なお、嫌悪因子は、「自分が嫌になる」、「嫌な気持ちになる」および「やる気がなくなる」という質問項目である。スピードバンド群だけが回避感情および嫌悪を低下させた原因として、「スピードバンド」によるボール速度の即時的提示による結果把握が挙げられる。運動を実践すること（キャッチボール）による結果（ボール速度）を把握することで、ボール速度の高まりという技能の好況を認識できたことが、体育授業の苦手意識を低下させたと考えられる。つまり、ボール速度の高まりを認識できることが、回避感情因子および嫌悪因子の低下を導いた。上家ほか^[12]は、教材および教具を工夫し、児童が出来栄えを客観視し易くすることで苦手意識が改善したことを報告した。また、大矢ほか^[25]は小学生を対象とした ICT を使用した投動作学習プログラムの実施により、動機づけの高まりや自己の技能の向上を認識し、達成体験を得るという心理変容プロセスを報告した。投能力の改善を認識することは運動好感度を向上させる可能性があり、本研究の研究結果は先行研究を支持した。遠投能力の向上の練習手段としてのキャッチボールは改善度合いの認識が困難であるが、即時的な速度提示という量的データによる改善度合いの把握が可能となることで、体育授業への苦手意識を改善する結果へと導いたと考えられる。その一方で、比較感情や劣等感情においては post 得点で改善が認められなかった。その要因はスピードバンドの使用によって他者との比較を容易にすることと考えられる。つまり、自分のボール速度を把握するとともに、同じ授業の履修者のボール速度を把握することも可能であるため、他者との比較を導き、投能力が低いものに関しては劣等感を感じる要因になるとも考えられる。

ボール投げにおける速度の把握はプロ野球であれば当然行われているが、一般的なスポーツ選手（愛好家）ではボール速度を知ることは難しい。また、スピードガンは一人で計測することは難しいが、「スピードバンド」は投球腕の手首に装着することで計測が可能になるため、簡単にボール

速度を確認することができる。授業において使用することを想定すると、スピードガンは測定環境として投球方向や投射角度などを限定するが、「スピードバンド」は運動実践者のいる場所で使用することが可能であるため、より簡便といえる。なお、スマートウォッチの個数により、測定できる人数は変動するが、人数分のスマートウォッチを準備することが可能であれば、測定や練習を実施することが可能である。つまり、授業においてキャッチボール練習する際に「スピードバンド」を装着し、ボール速度を把握することは投能力の改善、体育への苦手意識の低下を導く可能性があり、授業に取り入れやすいツールである。

4 授業における活用方法

投動作が必要となるスポーツ競技は、様々ある。本学の一般体育科目であるスポーツ科学演習においては、ソフトボールやバスケットボール、フットサルのゴレイロなどが該当し、それらの競技の目的は遠くに投げることや速く投げることである。そのため、スピードバンドを利用したボール速度計測は非常に有用である。スマートウォッチ内の加速度センサーを活用したスピードバンドの基本的な計測の仕組みは投球時の加速度を累積した値を利用している。また、ボールの重量や把持性によって決定したボールの固有値と運動実践者の手長を入力することで、様々なボールに対応するだけでなく、体格の異なる運動実践者にも対応している。そのため、様々な球技に対応することが可能である。

スピードバンドを使用する際は、図 13 のように手長を入力することで、その運動実践者に応じたボール速度を算出することが可能となる。その後、スポーツ競技、ボールを選択することで、測定画面が表示される。測定画面の状態の手首に装着したスマートウォッチに加速度が生じた（腕振りを行った）際に球数および球速が表示される。また、続けて測定を実施することができるため、測定から速度のフィードバックが短時間で可能である。操作が非常に簡便なため、スピードバンドの使用はどのような運動実践者においても使用可能なツールといえる。授業においては、学生がそれぞれ測定を行い、測定時の最大速度を記録する方法でデータ収集を行ったが、本来の仕様はリンク済みのスマートフォンに専用のアプリケーションを起動させることで、スピードバンドで計測した情報を確認することが可能である。そのデータは、運動実践者毎、測定日毎に取り込むことが可能であるため、測定日をさかのぼって、球速や球数を確認することで、成長度合いを把握するだけでなく、スポーツ障害の予防にも寄与する。

学生に対して投球時の映像を提示するとともに、図 1 のように投動作の連続写真を提示し、①後方のため、②踏出脚、③重心移動、④起こし回転、⑤体幹の動き、⑥肘の高さ、⑦腕振り・スナップの学生とともに確認した。学生はそれぞれの課題がどの程度の達成度合いであるかを検討することで、自身の投動作の課題を明確にすることが可能であった。図 1 の学生は、後方のため、重心移動に大きな課題があることが分かり、踏込脚接地時にボールが身体より後方にあることを確認し、腕を大きく振ること意識すること、踏込脚を大きく踏み出し、踏み出し脚接地から

リリースまでの間にボールの長く移動することを意識することが重要であるといえる。練習時に意識するポイントを明確にすることは、学生が主体的に投動作の習得に励むことに繋がっていると考えられる。そして、練習の成果はスピードバンドを活用することで即時的に確認が可能である。スピードバンドの活用は、投動作の習得において学生が主体的に取り組んだ結果を即時的に評価できる重要な環境づくりといえる。

5 研究の限界

本研究で使用している「スピードバンド」で計測できる速度は、実際のボール速度と比較し検証を行った。その際の条件は水平投げである。そのため、上下方向の角度がある遠投において同じ条件で計測ができるかどうか不明である。

本研究は一般体育科目において遠投能力を向上させる取り組みとして「スピードバンド」装着時のキャッチボール練習の効果を検討した。研究参加者のグルーピングに関しては、一般体育科目の受講者をクラス単位でグルーピングしたため、遠投距離において練習前に差が生じた ($p < 0.05$)。研究デザインとしてできるだけ同じ特性を持つグループが適しており、グルーピングの方法として課題が残る。また、腕のしなりを活用した投動作として手首より遠位の動きは「スピードバンド」で加速度の計測部位は手首であるため、評価することはできない。例えば、前腕を固定して手首より遠位の動きのみでボールを投げた場合、「スピードバンド」ではボール速度の計測が不可能である。その場合、手首や指の掌屈および屈曲によってボールを加速させると考えられるが、本研究は運動学的な分析に留まっている。運動力学的な分析を行うことで、実際に手関節の掌屈トルクや指の屈曲トルクが大きくなったか否かを検討することが今後の展開として必要になると考えられる。

「スピードバンド」を用いたキャッチボール練習において、即時的に速度を提示するため、練習時に常に全力で腕を振り切ることを意識すると考えられる。実際に練習中の球速全てを記録していないため、本研究で明らかにすることはできないが、練習強度が高くなったのであれば、「スピードバンド」の装着が質の高い練習を導いた可能性がある。本研究の運動強度に関する統制条件は、練習開始時は 10m 程度から投球を開始し、投球後、徐々に後退することで遠くに投げるように教示した。この方法では、練習終盤において遠投を行う際には全力に近い出力が予想されるが、キャッチボールのペアとの距離が近い場合にどのような速度で投げるかが不明である。そのため、Pre 測定時の遠投距離に応じた距離で投球数を提示するなどの課題が残る。

スマートウォッチは 2014 年から本格的に普及しており^[6]、アプリケーションの開発によって様々なツールとして活用が可能である。例えば、「スピードバンド」のアプリケーションをインストールすることで、多人数のボール速度を計測することができる。しかしながら、現時点では Apple 社が開発した iOS をベースとした watchOS を基にアプリケーションを使用しているため、すべてのスマートウォッチユーザーが使用できるわけではない。そのため、今後はさまざまなユーザーが使用できるように Wear OS by Google の環境下で開発を進める予定である。アプリケーションを

使用できる OS の拡大及びスマートウォッチの普及が広がることで「スピードバンド」がより授業に取り入れやすいツールになると考えられる。

6 まとめ

1. スピードバンドを装着したキャッチボール練習により、アームスイングを速くする練習効果が認められた。
2. スピードバンドを装着したキャッチボール練習により、体育への苦手意識の改善が認められた。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20K19623 および総合情報基盤センター研究開発 K022603 の助成を受けたものです。また、本研究を遂行するにあたりご協力いただきました皆様に感謝の意を表し、お礼申し上げます。なお、本報告は、体育・スポーツ教育研究で掲載された「スマートウォッチを用いた球速測定システムを活用した投運動の練習効果：一般体育科目における有用性について」^[14]を報告書としてまとめたものである。

引用・参考文献

- [1] 秋原悠・久野峻幸. 即時フィードバックシステムを用いたクラウチングスタート動作の変容. 大阪成蹊大学紀要, 8: 145-151. 2022.
- [2] Chelly, M. S., Hermassi, S., Aouadi, R., Shephard, R. J., Effects of 8-week In-Season Plyometric Training on upper and lower limb performance of elite adolescent handball players. J. Strength Cond. Res., 28(5): 1401-1410. 2014.
- [3] 藤井雅文・鈴木智晴・村上光平・水谷未来・前田明. 野球投手における投球時での発声が投球速度及びボール回転数に及ぼす影響 - リリース時に力が抜けてしまう投手の一事例 -. スポーツパフォーマンス研究, 12: 100-111. 2020.
- [4] Hermassi, S., Chelly, M. S., Tabka, Z., Shephard, R. J., Chamari, K., Effect of 8-week in-season upper and lower limb heavy resistance training on the peak power, throwing velocity, and sprint performance of elite male handball players. J. Strength Cond. Res., 25(9): 2424-2433. 2011.
- [5] 星川保. 大きさと重さの異なるボールの投げ. J. J. Sports Sci., 2: 104-109. 1982.
- [6] 飯塚重善・後藤篤志・石濱慎司・韓一栄・嶋谷誠司. 大学生のヘルスリテラシー向上に向けたスマートウォッチの活用 - デバイス装着実態把握のためのパイロットスタディ -. 国際経営論集, 62: 107-116. 2021.
- [7] 板谷厚・岩間圭祐・大田穂・吉田雄大・内藤譲・春日晃章・木塚朝博. 短時間の運動遊び介入が幼児の遠投距離と投げ出す方向に及ぼす効果. 教育医学, 6(4): 432-441. 2017.
- [8] 板谷厚・内藤譲・太田穂・岩間圭祐・吉田雄大. 幼児の遠投における投射角度の観察的評価

- と運動発達および遠投距離の関係. 教育医学, 61(2): 225-231. 2015.
- [9] 伊藤知之. 大学野球選手の球速・回転数・回転軸の特徴. スポーツ健康学会誌, 9: 3-8.
- [10] 伊藤豊彦. 原因帰属様式と身体的有能さの認知がスポーツ行動に及ぼす影響: スポーツ行動に関する原因帰属モデルの検討. 体育学研究, 31(4): 263-271. 1987.
- [11] 蔭山雅洋・前田明. 小学野球選手における投球速度を高めるトレーニングプログラムとその即時的な効果. スポーツパフォーマンス研究, 7: 10-21. 2015.
- [12] 上家卓・中道莉央・神林勲・石澤伸弘・森田憲輝・奥田知靖・高橋正年・山形昇平・岩田悟・朝倉潤・溝口仁志・檜山聡・秋月茜・福岡亮佑・松野修造・中島寿宏・志手典之・新開谷央. 小学生における体育授業への苦手意識に関する研究: 運動有能感に着目して. 北海道教育大学紀要 教育科学編, 64(2): 101-109. 2014.
- [13] 加藤謙一・佐藤裕也・林田浩二・小林育斗・阿江通良. 小学5年生のティーボールの授業における投能力の学習効果. 発育発達研究, 82: 24-44. 2019.
- [14] 本山清喬・元嶋菜美香・下川俊彦. スマートウォッチを用いた球速測定システムを活用した投運動の練習効果: 一般体育科目における有用性について. 体育・スポーツ 教育研究, 24: 印刷中. 2024.
- [15] Motoyama, K., Sakata, S., Abe, D., Relationship between ball graspability and run-up during ball velocity acquisition process. I. J. Sport Health Sci., 20: 260-270. 2022.
- [16] 村上俊祐・高橋仁大・村松憲・佐藤文平・佐藤雅幸・小屋菜穂子・北村哲・前田明. ボール挙動測定器を用いたテニスのサービスのボール速度とボール回転数の解析の可能性. スポーツパフォーマンス研究, 8: 361-374. 2016.
- [17] 村山光義・村松憲・佐々木玲子・清水静代・野口和行. 動作映像の即時フィードバックを用いた技術指導の効果: フライングディスク・サイドアームスロー導入時の事例. 体育研究所紀要, 46(1): 1-15. 2007.
- [18] 中村和彦・武長理栄・川路昌寛・川添公仁・篠原俊明・山本敏之・山縣然太郎・宮丸凱史. 観察的評価法による幼児の基本的動作様式の発達. 発育発達研究, 51: 1-8. 2011.
- [19] 村上温彦・下川俊彦・神屋郁子・本山清喬・西薊秀嗣. スマートウォッチを用いた球速測定システム「スピードバンド」の開発. 情報処理学会研究報告 2022 Information Processing Society of Japan, B11-3. 2022.
- [20] 宮口和義・前田正登. 種々のボールを用いるやり投げトレーニングの検討. スポーツ方法学研究, 4(1): 53-71. 1991.
- [21] 尾縣貢・高橋健夫・高本恵美・細越淳二・関岡康雄. オーバーハンスロー能力改善のための学習プログラムの作成: 小学校2・3年生を対象として. 体育学研究, 46: 281-294. 2001.
- [22] 尾縣貢・関岡康雄. 特別な投運動学習経験のない成人女性のオーバーハンスロー動作の特徴. 体育学研究, 39(5): 350-362. 1995.

- [23] 尾縣貢・関岡康雄. 遠投における投射角度および投距離の散布図に関する研究. 体育の科学, 46(8): 665-670. 1996.
- [24] 尾縣貢・関岡康雄・飯田稔. 成人女性における投能力向上の可能性. 体育学研究, 41: 11-22. 1996.
- [25] 大矢隆二・百瀬容美子・山根悠介・柳本雄次. 投動作学習を通じた児童の心理的変容プロセス. 日本教科教育学会誌, 39: 59-69. 2017.
- [26] 小澤治夫・石田譲・岡崎勝博・西嶋尚彦. 鉄棒単元におけるスポーツミラーによる運動画像の即時フィードバックの効果. 北海道教育大学釧路校研究紀要, 35: 1-6. 2010.
- [27] Robertson, M. A., Halverson, L. E., Developing children - Their changing movement: A guide for teachers. Philadelphia, Lea and Febiger; 102-121. 1984.
- [28] 桜井伸二・宮下充正. 子どもにみられるオーバーハンド投げの発達. J.J. Sports Sci., 1: 152-156. 1982.
- [29] 高本恵美・出井雄二・尾縣貢. 児童の投運動学習効果に影響を及ぼす要因. 体育学研究, 49: 321-333. 2004.
- [30] 竹内洋輔・野口和行・中村正雄. 映像による即時フィードバックを利用した技術指導の方法に関する検討: 大学体育スケート実習スケート初心者に対する片足滑走を事例として. 法政大学スポーツ健康学研究, 5: 65-75. 2014. 2014.
- [31] Whiting, W. C., Gregor, R. J, Halushka, M., Body segment and release parameter contributions to new-rules javelin throwing. J. Applied Biomech., 7(2): 111-124. 1991.
- [32] Winter, D. A., Biomechanics and Motor Control of Human Movement, 4th. Ed. John Wiley & Sons, Inc., Canada; 67-75. 2009.