

## Multisensory Perception and Action in 3-Ball Cascade Juggling

S´anchez Garc´ıa, R., Hayes, S. J., Williams, A. M., & Bennett, S. J.

Journal of Motor Behavior, Vol. 45, No. 1, 29-36, 2013

### Abstract

- 中級のジャグラーに対して、視界やボールの重さを実験的に操作することによる 3 ボールカスケードのボールコントロールへの影響を検証
- 触覚の利用はボールコントロールに特に影響を与えることを解明

### 1. Introduction

- 運動行動の研究ではこれまで多様な感覚と“つかむ”や両手による“周期運動”といった行動との関係を検証 (eg., Endo, Wing, & Bracewell, 2011; Ronsse, Miall, & Swinnen, 2009)
  - 聴覚や触覚, 視覚情報が歪められることで運動のばらつきが増加 (Wing, Dumas, and Welchman, 2010; Petrini et al., 2011)
    - ◇ 運動は, 感覚情報と空間関係が一致する際に強化
- 今日の研究では多様な感覚と運動の関係を 3 ボールカスケードで検証
  - エキスパートは視覚情報が遮られた際に, 運動感覚や触覚情報を徐々に利用し (特に利き手からの情報), ボールコントロールを実現 (Huys & Beek, 2002)
- エキスパートレベルに達していない人を対象にした, 視覚情報が遮られた際における運動感覚や触覚情報の利用に基づくボールコントロールへの影響は不明
  - 本研究では, ボールの頂点やボールの軌道に關係するトスやキャッチ周辺に着目して上記を検証

### 2. Method

#### 2.1. Participants

- 7 人の中級レベルのジャグラーが実験に参加 (男性 : 6 人, 女性 : 1 人)
  - 中級の定義 : 最低 45 秒間 3 ボールカスケードができる
- 参加者は右利きで視覚は通常 or 矯正

#### 2.2. Procedure

- 課題 : 直径 60mm のボールでカスケードを 3 complete cycles (各 18 回のトスとキャッチ) 実行
  - 視覚や触覚による 2 要因 (各 2 水準), 4 条件を設定
    - ◇ 視覚 : full vision vs. restricted vision
    - ◇ ボールの重さ : 全て同じ重さ vs. それぞれ異なる重さ

- 各条件で2 試行分データ収集
  - 少なくとも2 complete cycles 達成できなかった場合はもう1 度挑戦
  - 各条件はランダムで指示（被験者内）
- restricted vision では、表面が黒のテープで横断して貼られたゴーグルを装着
  - full vision でも、ゴーグルは装着
- ボールの重さは426, 116, 20g が用意され、全て同じ重さでカスケードを行う際には116g のボールを使用
  - それぞれ異なる重さで行わせる場合は、右手に426g と116g, 左手に20g のボールを持たせる
    - ◇ 最初のトスが始まる利き手の方に重いボールを持たせる

### 2.3. Data Acquisition and Reduction

- 参加者は事前に決められたところに立ち、その周りに半円でマウントカメラ4 台を設置(240Hz)
  - 手首(スナフ・ボックス)に反射マーカールが取り付け、ボールもシルバーテープで覆うことで運動の追跡を行う
- 時間的・空間的変数が以下のように設定(水平方向(x), 垂直方向(y))
  - トス( $T_s$ ), キャッチ( $C_t$ ), 頂点時( $Z_n$ )のボールの位置座標
    - ◇ トスの定義:「垂直方向におけるボールと手首の差分 > 60mm」の時
    - ◇ キャッチの定義:「垂直方向におけるボールと手首の差分 < 60mm」の時
  - (同じボールに対する) トス時の手首と頂点の垂直方向における差分 (ParHtY)
  - (同じボールに対する) トス時とキャッチ時の水平方向における差分 (ParBasX)
  - (同じボールに対する) トスからキャッチまでの時間 ( $T_f$ )
  - 右手のボールを保持している時間 (LdTR)
  - 左手のボールを保持している時間 (LdTL)
- 各試行における中央値と標準偏差 ( $SD$ ) が主な分析対象
  - 3 complete cycles 達成できなかった試行は今回、分析から除外

### 3. Results (Table1)

- ボールの重さが等しくない時、参加者は完全な失敗(連続キャッチが12 回未満)あるいは部分的な失敗(連続キャッチが12 回以上, 18 回以下)をした試行数が多かった
  - $F(1, 6) = 29.82, p < .002$
- 視覚が制限された時に失敗した試行数が多い傾向が確認
  - $F(1, 6) = 3.98, p < .086$
- 連続キャッチ数ではボールの重さによる主効果を確認
  - $F(1, 6) = 25.70, p < .002$

- 参加者はボールの重さが等しくない時、キャッチ数が少なかった

### 3.1. Central Tendency (Table2)

#### 頂点

- ボールの重さが等しくない時、RZnY と LZnY は増加
  - RZnY:  $F(1, 6) = 20.66, p < .004$
  - LZnY:  $F(1, 6) = 9.01, p < .03$
- 視覚情報が制限される時についても同様のことを確認
  - RZnY:  $F(1, 6) = 8.13; p < .03$
  - LZnY:  $F(1, 6) = 30.88, p < .001$

#### トス

- 垂直方向に関しては、ボールの重さと視覚の主効果を確認（右手のみ (RTsY)）
  - ボールの重さ：  $F(1, 6) = 9.41, p < .03$
  - 視覚：  $F(1, 6) = 13.85, p < .01$ 
    - ◇ 右手のトスは、ボールの重さが等しくない時に高さが低くなり、視覚が制限される時に高さが高くなる
    - ◇ 左手については有意差が確認されなかった

#### キャッチ

- 垂直方向 (LCtY と RCtY) は、視覚やボールの重さの影響はなかった
- 水平方向では、以下でのみ有意差を確認（前者は視覚の主効果、後者はボールの重さの主効果）
  - LTsX:  $F(1, 6) = 11.51, p < .02$
  - RCtX:  $F(1, 6) = 7.10, p < .04$

#### 差分

- ParHtY は、ボールの重さが異なる時、視覚情報が制限される時に増加
  - ボールの重さ：  $F(1, 6) = 20.39, p < .004$
  - 視覚：  $F(1, 6) = 22.15, p < .004$
  - ParBasX では、有意差は確認されなかった

#### 時間

- ボールを保持する時間 (LdTR) に関しては、視覚情報が制限される時に長くなった
  - $F(1, 6) = 8.96, p < .03$
  - 放物線の高さが高くなるとともに、Tf についてもボールの重さが異なる時と視覚情報が制限される時、両方で長くなった
    - ◇ ボールの重さ：  $F(1, 6) = 4.61, p < .08$
    - ◇ 視覚：  $F(1, 6) = 4.61, p < .08$

### 3.2. Dispersion (Table3)

ボールの重さ：全て同じ重さ vs. それぞれ異なる重さ

頂点

- ボールの重さが異なる時，RZnY のばらつき ( $SD$  値) が増加
  - $F(1, 6) = 33.99, p < .001$
- RTsY でも，ボールの重さの主効果を確認
  - $F(1, 6) = 13.80, p < .01$
- ボールの重さが異なる時，RZnX や LZnX ともにばらつきが増加
  - RZnX:  $F(1, 6) = 16.61, p < .007$
  - LZnX:  $F(1, 6) = 17.30, p < .006$

トス

- RTsX や LTsX でもボールの重さの主効果を確認
  - RTsX:  $F(1, 6) = 9.77, p < .02$
  - LTsX:  $F(1, 6) = 14.01, p < .01$

キャッチ

- ボールの重さが異なる時，RCtX や LCtX のばらつきが増加
  - RCtX:  $F(1, 6) = 9.36, p < .02$
  - LCtX:  $F(1, 6) = 21.75, p < .004$

視覚：full vision vs. restricted vision

- 視覚が制限される時，空間的変数の大部分はばらつきに有意傾向
  - 有意差が確認されたのは，RTsY と RZnX, LCtX のみ
    - ◇ RTsY:  $F(1, 6) = 9.49, p < .02$
    - ◇ RZnX:  $F(1, 6) = 9.36, p < .02$
    - ◇ LCtX:  $F(1, 6) = 11.63, p < .01$

差分

- ボールの重さが異なる時，視覚情報が制限される時，ParHtY のばらつきは増加
  - ボールの重さ：  $F(1, 6) = 52.07, p < .0004$
  - 視覚：  $F(1, 6) = 9.26, p < .02$
- ボールの重さが異なる時では，ParBasX のばらつきも大きくなった
  - $F(1, 6) = 42.87, p < .0006$
- しかし，LdTR や LdTL, Tf では，ボールの重さや視覚情報の要因による影響なし

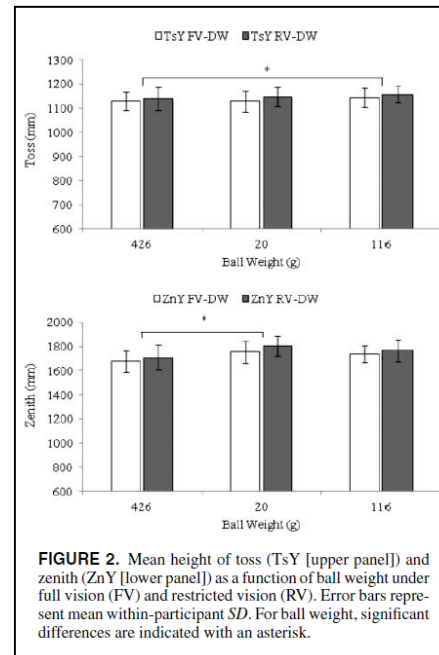
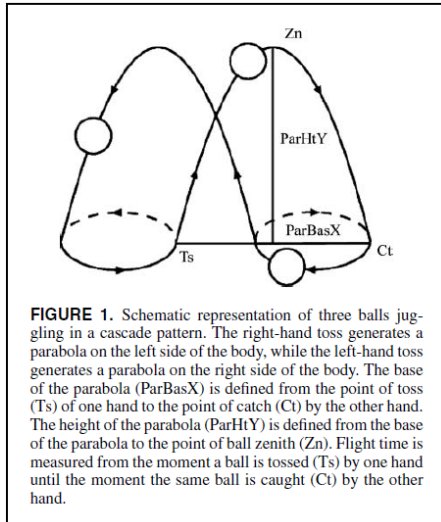
### 3.3. Adaptation to Ball Weight (Fig.2)

- 各ボールに対するより詳細な分析
- 視覚情報が制限される時，ボールがトスされる平均の高さや頂点の高さともに主効果を確認

- トス： $F(1, 6) = 7.30, p < .04$
- 頂点： $F(1, 6) = 7.31, p < .04$
- ボールの重さの違いでも、上記の変数の変化を確認
  - トス： $F(2, 12) = 4.07, p < .04$
  - 頂点： $F(2, 12) = 7.08, p < .01$ 
    - ◇ 重いボールは軽いボールと同じ高さでトスをしていたが、頂点は低かった
    - ◇ 標準の重さでは、重いボールにおいてトスの高さは高かったが、頂点では他のボールとの違いはなし
- ばらつきに関するデータでは有意差はなく、交互作用も確認されなかった

#### 4. Discussion

- 今回、中級レベルのジャグラーでは、視覚が制限された状況において手（触覚）やボールから情報を得ようとすることを確認
  - 視覚の制限よりもボールの重さが異なることによる影響が大きいと言われている
    - ◇ ボールを高くトスすることで長い時間、特に頂点周辺にあるボールを見続けることが可能
      - ✓ テープで塞がれていない箇所でボールを見ようとする
  - トスの高さにおける微増は、より高くなる頂点で補完される
    - ◇ 目の動きや首を伸ばす仕草が確認され、各ボールや手の動きを見ることはないことを示唆
- 視覚情報の制限は、ボールの重さの違いよりも影響が少なかったうえに両者で交互作用は確認されなかった
  - 手を見ることはないが、参加者は頂点周辺のボール情報を利用し、加えて重力に関する知識からキャッチする瞬間や位置を予測
  - 頂点周辺の視覚情報は、運動の結果を確定するために直前のキャッチやトスから得られる触覚との結合において機能
    - ◇ ジャグリングにおいて、頂点周辺におけるボールからの視覚的情報は、ジャグリングをコントロールするうえで重要な役割を果たす(Beek & van Santvoord, 1994; van Santvoord & Beek, 1996)
- 今後は、触覚と頂点周辺の視覚情報を制限した時のパフォーマンスを検討
  - 最適な行動の関係に関する理解をより深めることになる



**TABLE 1. Complete and Partial Failures as a Function of Participant and Condition**

Participant	Condition	Complete failures	Partial failures
P1	FV-EW	0	0
	RV-EW	0	0
	FV-DW	1	0
P2	RV-DW	1	1 (13)
	FV-EW	0	0
	RV-EW	1	1(17)
P3	FV-DW	1	0
	RV-DW	3	0
	FV-EW	0	0
P4	RV-EW	0	0
	FV-DW	1	0
	RV-DW	0	0
P5	FV-EW	0	0
	RV-EW	0	0
	FV-DW	0	0
P6	RV-DW	1	0
	FV-EW	0	1(15)
	RV-EW	0	1(17)
P7	FV-DW	1	1(14)
	RV-DW	2	0
	FV-EW	0	0
	RV-EW	0	0
	FV-DW	0	0
	RV-DW	1	0

Note. Number of catches shown between parentheses. FV-EW = full vision-equal weight; RV-EW = restricted vision-equal weight; FV-DW = full vision-different weight; RV-DW = restricted vision-different weight.

**TABLE 2. Group Intraparticipant Mean (Central Tendency) of Dependent Variables in the Four Juggling Conditions**

	FV-EW	RV-EW	FV-DW	RV-DW
LZnY (mm)	1689	1717	1721	1773
LZnX (mm)	187	219	177	184
RZnY (mm)	1670	1692	1705	1733
RZnX (mm)	343	332	335	347
LTsY (mm)	1166	1167	1158	1162
LTsX (mm)	355	365	341	348
RTsY (mm)	1128	1137	1119	1130
RTsX (mm)	161	170	162	168
LCtY (mm)	1140	1142	1135	1137
LCtX (mm)	471	472	463	474
RCtY (mm)	1127	1134	1120	1120
RCtX (mm)	66	86	69	85
ParHtY (mm)	532	553	576	606
ParBasX (mm)	302	293	293	292
LdTR (ms)	540	581	579	599
LdTL (ms)	481	495	511	543
Tf (ms)	882	940	927	964

Note. FV-EW = full vision-equal weight; RV-EW = restricted vision-equal weight; FV-DW = full vision-different weight; RV-DW = restricted vision-different weight.

**TABLE 3. Group Intraparticipant *SD* (Dispersion) of Dependent Variables in the Four Juggling Conditions**

	FV-EW	RV-EW	FV-DW	RV-DW
LZnY (mm)	58	61	76	91
LZnX (mm)	39	51	56	73
RZnY (mm)	64	68	109	119
RZnX (mm)	41	57	55	81
LTsY (mm)	29	31	36	34
LTsX (mm)	31	40	43	59
RTsY (mm)	28	38	32	42
RTsX (mm)	39	40	47	61
LCtY (mm)	37	38	38	52
LCtX (mm)	38	53	50	69
RCtY (mm)	31	32	37	43
RCtX (mm)	43	48	60	73
ParHtY (mm)	68	77	101	113
ParBasX (mm)	52	65	70	81
LdTR (ms)	51	81	91	99
LdTl (ms)	55	80	95	88
Tf (ms)	65	105	105	96

*Note.* FV-EW = full vision-equal weight; RV-EW = restricted vision-equal weight; FV-DW = full vision-different weight; RV-DW = restricted vision-different weight.