

Spatiotemporal variability in cascade juggling

van Santvoord, A. A. M., & Beek, P. J. (1996). *Acta Psychologica*, Vol. 91, pp. 131-151

導入

- 運動制御の問題
 - 空間（位置）や時間（タイミングやリズム）をどのように制御しているのか
 - ◇ 変動（ばらつき）と関連
 - ◇ 変動は、課題や課題に対する指示により影響
 - ✓ e.g., Carlton (1994); Newell et al. (1993); Zelaznik et al. (1988)
 - ◇ 知覚運動課題において、変動の特徴を検討することは重要

- ある制約が生じる状況下で、どのような運動制御が行われるのかについて検討
 - 課題：3 ボールカスケード

- ジャグリングにおける“運動制御の問題”
 - 適切なタイミング
 - ◇ Austin (1976); Beek, (1989b); Beek and Turvey (1992)
 - 空間場の制約 (Spatial clock) (Beek, 1989a)
 - ◇ ボールを一貫して同じ高さにすることで、一貫したタイミングが実現

- 素朴な疑問と予測
 - 時間が制約されると…
 - ◇ 例：ある一意のタイミングでトスやキャッチ
 - ◇ 予測：時間に関連する変動は、空間に関連する変動より減少
 - 位置が制約されると…
 - ◇ 例：ボールをある一意の高さになるようにトス
 - ◇ 予測：位置に関連する変動は、時間に関連する変動より減少
 - 空間場の制約に基づく…
 - ◇ 位置や時間に関連する変動
 - ✓ 予測：位置が制約される状況における変動 < 時間が制約される状況における変動

- 素朴な疑問と予測（その2）
 - 空間場の制約に基づく…
 - ◇ 特にトスが制御され、一意のボールの軌道が実現
 - ◇ 位置及び、時間が制約された状況

- ✓ 予測: ボールの位置や時間に関連する変動 < 手の位置や時間に関連する変動

● 本研究

- 位置や時間が制約された状況下におけるカスケードの特徴について検討
- エキスパートと中級レベルのジャグラー間での差異について検討

実験

参加者

- エキスパートジャグラー3名と中級レベルのジャグラー3名
 - エキスパート…5 ボール以上のカスケードができる
 - 中級レベル…3 ボールより多いボール数のカスケードができない

手続き

- 参加者の前にハイスピードカメラを設置
 - ボールの軌道が全て見えるように設置
- 以下の2つの状況下で課題を実施
 - 空間制約状況 (Spatially constrained condition)
 - ◇ 天井から吊るされたマーカーの高さにボールが届くようにトス
 - ✓ 高さ要因 (4水準) : 25cm, 50cm, 75cm, 110cm
 - ✓ 肘を固定させて 90 度屈曲した際の手の高さが原点
 - 時間制約状況 (Temporally constrained condition)
 - ◇ メトロノームのビープ音に合わせてトスとキャッチ
 - ✓ 音要因 (4水準) : 301ms, 430ms, 521ms, 628ms
 - 各状況において、各高さ・ビープ音で課題を行う前に練習
 - ◇ 練習後、撮影
 - ✓ 原則、3 complete cycles (連続キャッチ数 18 回) を撮影

データの取得

- Motion analyzer (NAC type MC OF) により、ボールの位置座標を記録
 - 水平・垂直方向の2方向
- キーとなるイベントの位置座標を記録
 - トス, 頂点, キャッチ

位置に関連する変数

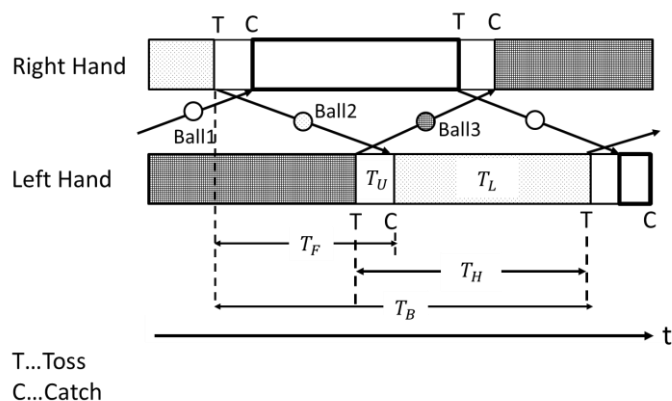
- 以下の変数を分析対象 (Fig.1)

- ボールの放物線の高さ (h)
 - ✧ トスと頂点における位置の差分 (垂直方向)
- 放物線の横幅 (F)
 - ✧ 同じボールに対するトスとキャッチにおける位置の差分 (水平方向)
- 手の運動の横幅 (D)
 - ✧ 同じ手に対するトスとキャッチにおける位置の差分 (水平方向)
- トス時の角度 (ϕ_r (rad))
 - ✧ トス後のボールの軌道と水平方向から導かれる角度
- 各高さ・ビープ音で、平均 (1 cycle) と変動 (標準偏差 or 変動係数) を算出
 - ✧ 変動係数=標準偏差/平均
 - ✓ 異なる単位や指標の変動を比較する際に有効

時間に関連する変数

- 以下の変数を分析対象
 - 滞空時間 (T_F)
 - ✧ 同じボールがトスされてからキャッチされるまでの時間
 - 保持時間 (T_L)
 - ✧ 同じ手でボールをキャッチしてからそのボールをトスするまでの時間
 - 保持していない時間 (T_U)
 - ✧ 同じ手でボールをトスしてから、別のボールをキャッチするまでの時間
 - 手の運動周期 (T_H)
 - ✧ $T_L + T_U$
 - ボールの運動周期 (T_B)
 - ✧ $T_L + T_F$
 - 各高さ・ビープ音で、平均と変動 (変動係数) を算出

#補足：3 ボールカスケードの時間構造 (T_F , T_L , T_U , T_H , T_B の例)



速度に関連する変数

- トスのボール速度 (V_0)
 - トスからトス後のボールの軌道から導かれる速度（水平・垂直方向）

結果

空間制約状況

- 頂点におけるボールの位置と、マーカーの高さとの差分（垂直方向）（Table.1 (a)）
 - 全ての差分（平均）において、t 検定（帰無仮説：差分は 0）
 - ◇ 14 試行で有意差を確認
 - ✓ マーカーよりも低くなるようにボールをトスする傾向
 - 高さ要因×スキル要因で 2 要因の分散分析
 - ◇ 平均では高さ要因の主効果は確認されず
 - ◇ 変動（標準偏差）で高さ要因の主効果を確認
 - ✓ $F(3,12) = 12.4, p < 0.001$
 - ✓ マーカーの位置が高くなると、変動が増加
 - 平均（絶対値）とその変動においても同様の結果を確認（Table.1 (b)）

時間制約状況

- ビープ音とトスの間における時間の差分（Table.2 (a)）
 - 全ての差分（平均）において、t 検定（帰無仮説：差分は 0）
 - ◇ 5 試行で有意差を確認
 - ✓ ビープ音よりも早くトスすることを意味
 - 音要因×スキル要因で 2 要因の分散分析
 - ◇ 平均やその変動（標準偏差）ともに、要因の主効果（及び、交互作用）は確認されず
 - ✓ 要因に影響を受けずに時間は制御
 - 平均（絶対値）とその変動においても同様の結果を確認（Table.2 (b)）

時空間パターン (Spatiotemporal patterns)

- 以下の変数を評価
 - Eq. (1): ϕ_r, F, h
 - ◇ 位置に関連する変数
 - Eq. (2): T_F, T_L, T_U
 - ◇ 時間に関連する変数

平均値 (Table.3~Table.6)

- $2 \times 4 \times 2 \times 2$ の 4 要因の分散分析
 - スキル要因
 - ◇ Expert 水準, Intermediate 水準
 - パターンサイズ要因
 - ◇ 25cm/301ms 水準, 50cm/430ms 水準, 75cm/521ms 水準, 110cm/628ms 水準
 - 制約要因
 - ◇ ビープ音水準, マーカー水準
 - 手要因
 - ◇ 左手水準, 右手水準

- パターンサイズ要因の主効果を確認
 - $\phi_r \cdots F(3,12) = 177.72, p < 0.0001$
 - $F \cdots F(3,12) = 4.87, p < 0.05$
 - $h \cdots F(3,12) = 221.06, p < 0.0001$
 - $T_F \cdots F(3,12) = 240.74, p < 0.0001$
 - $T_L \cdots F(3,12) = 212.22, p < 0.0001$
 - $T_U \cdots F(3,12) = 4.41, p < 0.05$
 - ◇ パターンサイズが大きくなると, 値が増加

- 制約要因の主効果を確認
 - $\phi_r \cdots F(1,4) = 8.21, p < 0.05$
 - $T_F \cdots F(1,4) = 11.96, p < 0.05$
 - $T_L \cdots F(1,4) = 13.87, p < 0.05$
 - ◇ マーカーの値 < ビープ音の値

- パターンサイズ要因と制約要因の交互作用を確認
 - $\phi_r \cdots F(3,12) = 11.95, p < 0.001$
 - $h \cdots F(3,12) = 5.48, p < 0.05$
 - $T_F \cdots F(3,12) = 4.41, p < 0.05$
 - $T_U \cdots F(3,12) = 5.01, p < 0.05$
 - ◇ パターンサイズがより小さい水準
 - ✓ 「マーカーの値 < ビープ音の値」が顕著

- スキル要因の主効果は確認されず (全ての変数)

- パターンサイズ要因と手要因の交互作用を確認
 - $\phi_r \cdots F(3,12) = 4.79, p < 0.05$
 - ◇ 最もパターンサイズが小さい水準 (25 cm/301 ms)
 - ✓ 左手の値 < 右手の値

変動

- Eq. (1): ϕ_r, F, h の変動 (Table.3 と Table.4)
 - 変数要因も加えて、先程と同様に分散分析

- 変数要因の主効果を確認
 - $F(2, 8) = 98.73, p < 0.0001$
 - ◇ $h < F$ (多重比較)

- スキル要因の主効果を確認
 - $F(1, 4) = 9.62, p < 0.05$
 - ◇ エキスパートの変動 < 中級レベルの変動

- 変数要因とスキル要因の交互作用を確認
 - $F(2, 8) = 6.69, p < 0.05$
 - ◇ F
 - ✓ 「エキスパートの変動 < 中級レベルの変動」が顕著

- パターンサイズ要因の主効果を確認
 - $F(3,12) = 8.73, p < 0.005$
 - ◇ パターンサイズが大きくなると、変動が増加

- 変数要因とパターンサイズ要因の交互作用を確認
 - $F(6,24) = 11.84, p < 0.005$
 - ◇ F
 - ✓ 「パターンサイズが大きくなると、変動が増加」が顕著

- 制約要因の主効果は確認されず

- 位置の変動に関する結果に対する解釈
 - ボールの軌道は、トスからキャッチに掛けて変動が蓄積される可能性
 - ◇ トスに関連する変数 (h) の変動 < キャッチに関連する変数 (F) の変動

- トスの位置が固定されるならば…
 - ◇ 変動が連続的に蓄積され、トス後に関連する変数の変動が増加
- トスの位置が固定されないならば…
 - ◇ 原則、トスやキャッチのイベント間で変動が相互補完 (Stimpel, 1933)

- キーとなるイベント (トス, 頂点, キャッチ) の変動について検討
 - 各イベント時の位置と、そのイベントの位置の平均との差分 (絶対値)
 - ◇ 各イベントの位置の平均 (Fig.2)
 - $2 \times 3 \times 2 \times 4 \times 2 \times 2$ の 6 要因の分散分析
 - ◇ スキル要因
 - ◇ パターンサイズ要因
 - ◇ 制約要因
 - ◇ 手要因
 - ◇ イベント要因
 - ✓ トス水準, キャッチ水準, 頂点水準
 - ◇ 方向要因
 - ✓ 水平方向水準, 垂直方向水準

- イベント要因の主効果を確認
 - $F(2,8) = 48.98, p < 0.0001$
 - ◇ トスの差分 < 頂点の差分 < キャッチの差分 (多重比較)

- 方向要因とイベント要因の交互作用を確認
 - $F(2,8) = 42.66, p < 0.0001$
 - ◇ 水平方向
 - ✓ 「トスの差分 < 頂点の差分」が顕著

- パターンサイズ要因の主効果を確認
 - $F(3,12) = 31.28, p < 0.0001$
 - ◇ パターンサイズが大きくなると、差分が増加

- パターンサイズ要因とイベント要因の交互作用を確認
 - $F(6,24) = 7.36, p < 0.001$
 - ◇ キャッチと頂点
 - ✓ 「パターンサイズが大きくなると、差分が増加」が顕著
 - パターンサイズ要因とイベント要因, 方向要因の交互作用を確認

◇ $F(6,24) = 9.29, p < 0.0001$

- 方向要因とスキル要因の交互作用を確認
 - $F(1,4) = 8.58, p < 0.05$
 - ◇ エキスパート
 - ✓ 垂直方向の差分 < 水平方向の差分

- パターンサイズ要因とスキル要因の交互作用を確認
 - $F(3,12) = 3.83, p < 0.05$
 - ◇ エキスパート
 - ✓ 「パターンサイズが大きくなると、差分が増加」が顕著

- パターンサイズ要因とスキル要因、手要因の交互作用を確認
 - $F(3,12) = 7.23, p < 0.01$
 - ◇ エキスパート (右手)
 - ✓ 「パターンサイズが大きくなると、差分が増加」が顕著

- 制約要因の主効果や、制約要因と他の要因との交互作用は確認されず

- キーとなるイベントの変動に関する結果に対する解釈
 - 制約に関係なく、トスはアンカーの役割
 - ◇ トスの差分 < 頂点の差分 < キャッチの差分
 - ◇ Beek (1989a) の主張と一致
 - 安定したポイントから、ジャグラーはボールの高さを制御
 - ◇ 落下地点のコントロールは二の次
 - ◇ 熟達とともに制御

- 上記の主張をさらに検証
 - トスのボール速度の変動 (変動係数)
 - $2 \times 2 \times 4 \times 2 \times 2$ の 5 要因の分散分析
 - ◇ スキル要因
 - ◇ 方向要因
 - ✓ 水平方向水準, 垂直方向水準
 - ◇ パターンサイズ要因
 - ◇ 制約要因
 - ◇ 手要因

- 方向要因の主効果を確認
 - $F(1,4) = 55.79, p < 0.01$
 - ◇ 垂直方向の変動 < 水平方向の変動

- スキル要因の主効果を確認
 - $F(1,4) = 9.33, p < 0.05$
 - ◇ エキスパートの変動 < 中級レベルの変動

- 制約要因の主効果や、制約要因と他の要因との交互作用は確認されず

- 位置の変動に関する最後の分析
 - 放物線の横幅 (F) と手の運動の横幅 (D) の変動 (変動係数) について検討
 - 先程と同様に分散分析
 - ◇ スキル要因
 - ◇ 変数要因
 - ✓ F 水準と D 水準
 - ◇ パターンサイズ要因
 - ◇ 制約要因
 - ◇ 手要因

- 変数要因の主効果を確認
 - $F(1,4) = 46.67, p < 0.01$
 - ◇ F の変動 < D の変動

- パターンサイズ要因の主効果を確認
 - $F(3,12) = 14.67, p < 0.001$
 - ◇ パターンサイズが大きくなると、変動が増加

- 変数要因とパターンサイズ要因の交互作用を確認
 - $F(3,12) = 7.87, p < 0.01$
 - ◇ パターンサイズがより大きい水準
 - ✓ 「 F の変動 < D の変動」が顕著

- スキル要因の主効果を確認
 - $F(1,4) = 12.10, p < 0.05$
 - ◇ エキスパートの変動 < 中級レベルの変動

- 制約要因の主効果は確認されず
- 「 F の変動 $<$ D の変動」や、「 h の変動 $<$ F の変動 (資料 p. 6)」から以下の解釈
 - ボールの軌道が手の運動よりも制御される可能性
- Eq. (2): T_F , T_L , T_U の変動 (Table.5 と Table.6)
 - 先程と同様に分散分析
 - ◇ スキル要因
 - ◇ タイムイベント要因
 - ✓ T_F 水準, T_L 水準, T_U 水準
 - ◇ パターンサイズ要因
 - ◇ 制約要因
 - ◇ 手要因
- タイムイベント要因の主効果を確認
 - $F(2,8) = 112.99, p < 0.0001$
 - ◇ T_F の変動 $<$ T_L の変動 $<$ T_U の変動 (多重比較)
- タイムイベント要因とパターンサイズ要因の交互作用を確認
 - $F(6,24) = 4.64, p < 0.01$
 - ◇ パターンサイズが大きくなると, T_L の変動が増加
 - ◇ パターンサイズが大きくなると, T_U の変動は減少, T_F の変動は維持
- 制約要因の主効果は確認されず
- 時間の変動に関する結果に対する解釈
 - ボールの軌道に関連する時間は, 手の運動に関連する時間よりも制御
 - ◇ ボールの軌道に関する時間 (T_F) の変動 $<$ 手の運動に関連する時間 (T_L, T_U) の変動
- 上記の主張をさらに検証
 - 手 (T_H) やボール (T_B) の運動周期の変動 (変動係数)
 - 先程と同様に分散分析を実施
 - ◇ スキル要因
 - ◇ サイクルタイム要因
 - ✓ T_H 水準, T_B 水準

- ◇ パターンサイズ要因
- ◇ 制約要因
- ◇ 手要因

- サイクルタイム要因の主効果を確認
 - $F(1,4) = 90.64, p < 0.001$
 - ◇ T_B の変動 $<$ T_H の変動

- 制約要因とサイクルタイム要因の交互作用を確認
 - $F(1,4) = 16.30, p < 0.05$
 - ◇ マーカー水準における T_B の変動 $<$ ビープ音水準における T_B の変動
 - ◇ マーカー水準における T_H の変動 \simeq ビープ音水準における T_H の変動

- スキル要因と制約要因, サイクルタイム要因の交互作用を確認
 - $F(1,4) = 18.38, p < 0.05$
 - ◇ エキスパート
 - ✓ マーカー水準における T_H の変動 \simeq ビープ水準における T_H の変動
 - ◇ ノービス
 - ✓ マーカー水準における T_H の変動 $<$ ビープ音水準における T_H の変動

- 手やボールの運動周期の変動に関する結果に対する解釈
 - ボールの軌道に関連する時間は, 手の運動に関連する時間よりも制御 (再確認)
 - ◇ 前者は, 位置の制約により影響

討論

- 予測 (導入) : 位置が制約される状況における変動 $<$ 時間が制約される状況における変動
 - 空間制約状況におけるボールの運動周期の変動 $<$ 時間制約状況におけるボールの運動周期の変動 (資料 p. 11)
 - ✓ エキスパートと中級レベルにおいて同じ結果

- 予測 (導入) : ボールの軌道が手の運動よりも制御
 - 放物線の横幅の変動 $<$ 手の運動の横幅の変動 (資料 p. 9)
 - ◇ エキスパートと中級レベルにおいて同じ結果
 - ボールの運動周期の変動 $<$ 手の運動周期の変動 (資料 p. 11)
 - ◇ エキスパートと中級レベルにおいて同じ結果

- ジャグラーはトスをアンカーとする
 - トス時の小さな変動が蓄積され、その後のイベントに関連する変動が増加
 - ◇ 各イベント時の位置と、そのイベントの平均的な位置との差分（絶対値）
 - ✓ トスの差分 < 頂点の差分 < キャッチの差分（資料 p. 7）

- ボールの高さが落下地点よりも制御
 - 垂直方向における速度の変動 < 水平方向における速度の変動（資料 p. 8）

- 空間場の制約（Spatial clock）とは（本研究の結果より）
 - ボールの滞空に関連する変動を最小限し、キャッチ時のエラーを防ぐ
 - ◇ 先行研究で予測（Beek, 1988; Beek, 1989a; Beek, 1989b; Beek and Van Santvoord, 1992）

- カスケードを行う空間領域を自ずと制約し、タイミングやリズムを決定
 - 行為者と環境との関係を確立することを意味
 - 中級レベルの学習段階では、位置（空間）に関連するフィードバックが適切
 - ◇ 空間制約状況の方が、手の運動周期の変動が小さかった（資料 p. 10）

- 動物や人間は、特定の課題を達成するために環境に適応
 - 空間場の制約
 - ◇ 多様な環境を踏まえた、一般論に適用

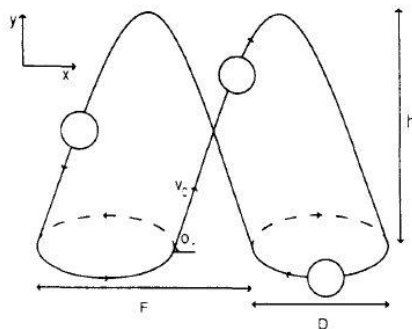


Fig. 1. Schematic representation of juggling three balls in a figure-eight pattern, momentary situation: φ_0 is the angle of release; V_0 is the velocity of the ball at the moment of release; h is the height to which the balls are thrown relative to the point of release; F is the base width of the flight parabola, and D is the width of the elliptical hand movement.

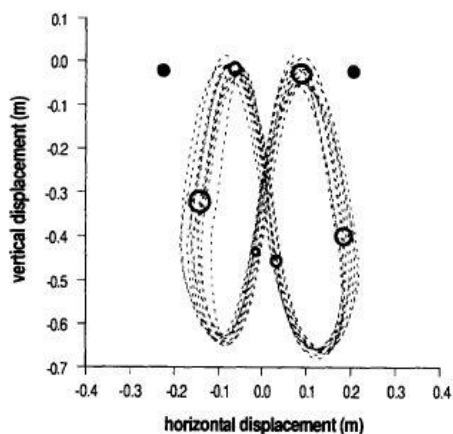


Fig. 2. An example of the ball trajectories of a trial in the spatially constrained condition (50 cm) from an expert juggler (E3). The solid circles indicate the positions of the targets. The open circles represent the mean distance of the events to their mean spatial location for the zeniths (top two circles), the throws (bottom two circles) and catches (middle two circles). (Position data filtered at 10 Hz).

Table 1
Within-trial means and standard deviations of the vertical difference (a) and the absolute vertical difference (b) (in mm) between the zeniths of the ballflights and the target heights for the expert (E1-E3) and intermediate (I1-I3) jugglers in the spatially constrained condition (regardless of hands)

Subject	Target height (cm)							
	25		50		75		110	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<i>(a)</i>								
E1	-13 ^a	16	9	35	-38 ^a	48	-72 ^a	57
E2	12 ^a	14	-20 ^a	28	-75 ^a	40	-206 ^a	70
E3			1	19	52 ^a	23	-42 ^a	32
I1	13	33	-12	47	-26 ^a	30	-22	58
I2	-31 ^a	22	10	47	-29	68	-97 ^a	70
I3	-60 ^a	18	-31 ^a	25	-7	38	23	61
<i>(b)</i>								
E1	18	10	28	22	52	31	76	51
E2	14	12	23	25	78	34	206	70
E3			16	10	52	23	43	30
I1	29	19	39	27	34	21	50	36
I2	33	20	36	31	60	42	98	69
I3	60	18	33	22	31	21	48	41

^a $p < 0.01$.

Table 2
Within-trial means and standard deviations of the difference (a) and the absolute difference (b) (in s) between the intervals of the metronome beeps and the intervals between successive throws for the expert (E1–E3) and intermediate (I1–I3) jugglers in the temporally constrained condition (regardless of hands)

Subject	Beat interval (ms)							
	301		430		521		628	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<i>(a)</i>								
E1	-0.020 ^b	0.012	0.001	0.023	-0.004	0.040	0.007	0.029
E2	0.003	0.050	-0.048 ^a	0.076	-0.005	0.048	-0.001	0.042
E3	-0.001	0.019	-0.039 ^b	0.021	-0.031 ^b	0.026	0.005	0.019
I1	-0.001	0.026	0.000	0.058	-0.006	0.031	-0.034 ^b	0.046
I2	-0.001	0.014	0.000	0.017	0.004	0.020	0.000	0.046
I3	-0.001	0.022	-0.003	0.032	0.001	0.032	0.000	0.031
<i>(b)</i>								
E1	0.021	0.012	0.018	0.013	0.031	0.025	0.024	0.017
E2	0.048	0.009	0.076	0.046	0.041	0.025	0.032	0.025
E3	0.017	0.008	0.039	0.021	0.032	0.025	0.015	0.013
I1	0.021	0.013	0.049	0.028	0.027	0.015	0.045	0.035
I2	0.011	0.009	0.013	0.011	0.016	0.013	0.038	0.024
I3	0.018	0.012	0.028	0.014	0.026	0.017	0.023	0.019

^a $p < 0.05$; ^b $p < 0.01$

Table 3
Within-trial means and coefficients of variance (CV) of the spatial variables in the spatially constrained condition

Subject	Target height (cm)							
	25		50		75		110	
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
<i>Angle of release: φ_r (rad)</i>								
E1	1.304	0.03	1.455	0.02	1.487	0.01	1.503	0.01
E2	1.327	0.03	1.400	0.01	1.432	0.01	1.450	0.01
E3			1.453	0.01	1.501	0.01	1.509	0.01
I1	1.338	0.03	1.453	0.02	1.485	0.01	1.482	0.01
I2	1.361	0.02	1.444	0.02	1.476	0.03	1.491	0.02
I3	1.336	0.03	1.488	0.01	1.465	0.01	1.526	0.02
<i>Height: h (m)</i>								
E1	0.278	0.07	0.521	0.09	0.740	0.05	1.052	0.05
E2	0.243	0.06	0.473	0.05	0.581	0.05	0.854	0.07
E3			0.423	0.05	0.747	0.04	0.893	0.03
I1	0.222	0.12	0.365	0.09	0.543	0.09	0.801	0.09
I2	0.358	0.05	0.515	0.07	0.739	0.08	1.003	0.08
I3	0.266	0.08	0.451	0.06	0.670	0.06	0.998	0.05
<i>Base width of ball flight: F (m)</i>								
E1	0.277	0.11	0.218	0.19	0.226	0.16	0.273	0.24
E2	0.235	0.14	0.317	0.09	0.314	0.11	0.396	0.10
E3			0.188	0.11	0.199	0.12	0.211	0.17
I1	0.202	0.13	0.168	0.25	0.181	0.27	0.273	0.26
I2	0.278	0.08	0.243	0.20	0.266	0.53	0.300	0.43
I3	0.246	0.14	0.142	0.14	0.259	0.21	0.170	0.67

Table 4
Within-trial means and coefficients of variance (CV) of the spatial variables in the temporally constrained condition

Subject	Beat interval (ms)							
	301		430		521		628	
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
<i>Angle of release: φ_r (rad)</i>								
E1	1.436	0.02	1.489	0.01	1.496	0.02	1.519	0.01
E2	1.373	0.01	1.414	0.01	1.455	0.02	1.472	0.02
E3	1.406	0.01	1.432	0.01	1.463	0.01	1.504	0.01
I1	1.425	0.03	1.486	0.02	1.513	0.02	1.498	0.02
I2	1.393	0.03	1.446	0.01	1.468	0.01	1.491	0.02
I3	1.433	0.01	1.473	0.01	1.501	0.02	1.484	0.02
<i>Height: h (m)</i>								
E1	0.381	0.06	0.656	0.04	0.833	0.09	1.035	0.06
E2	0.408	0.07	0.594	0.06	0.625	0.07	0.895	0.06
E3	0.345	0.05	0.432	0.06	0.579	0.07	0.873	0.05
I1	0.309	0.12	0.528	0.11	0.670	0.10	0.818	0.12
I2	0.393	0.09	0.553	0.09	0.769	0.06	1.021	0.07
I3	0.380	0.03	0.544	0.05	0.695	0.06	0.935	0.08
<i>Base width of ball flight: F (m)</i>								
E1	0.187	0.24	0.199	0.21	0.233	0.38	0.206	0.37
E2	0.321	0.10	0.364	0.09	0.288	0.20	0.341	0.19
E3	0.218	0.08	0.231	0.12	0.242	0.12	0.228	0.24
I1	0.175	0.23	0.166	0.31	0.156	0.48	0.232	0.36
I2	0.256	0.19	0.267	0.09	0.306	0.19	0.317	0.36
I3	0.198	0.14	0.196	0.21	0.182	0.36	0.311	0.35

Table 5
Within-trial means and coefficients of variance (CV) of the temporal variables in the spatially constrained condition

Subject	Target height (cm)							
	25		50		75		110	
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
<i>Time flight: T_f (in s)</i>								
E1	0.437	0.04	0.592	0.03	0.706	0.03	0.874	0.02
E2	0.435	0.03	0.604	0.02	0.666	0.03	0.798	0.03
E3			0.555	0.02	0.743	0.02	0.805	0.02
I1	0.415	0.06	0.532	0.05	0.641	0.03	0.772	0.04
I2	0.495	0.02	0.599	0.03	0.737	0.03	0.849	0.04
I3	0.453	0.05	0.577	0.03	0.679	0.03	0.866	0.03
<i>Time loaded: T_L (in s)</i>								
E1	0.307	0.06	0.427	0.05	0.629	0.08	0.961	0.04
E2	0.257	0.06	0.312	0.06	0.378	0.05	0.503	0.08
E3			0.449	0.03	0.864	0.04	0.878	0.04
I1	0.277	0.11	0.412	0.09	0.559	0.06	0.818	0.05
I2	0.366	0.05	0.561	0.05	0.759	0.07	0.904	0.06
I3	0.295	0.07	0.470	0.05	0.674	0.05	1.012	0.03
<i>Time unloaded: T_U (in s)</i>								
E1	0.190	0.10	0.253	0.09	0.263	0.10	0.262	0.07
E2	0.203	0.06	0.296	0.06	0.318	0.08	0.364	0.09
E3			0.221	0.09	0.206	0.11	0.242	0.12
I1	0.183	0.15	0.219	0.09	0.242	0.10	0.240	0.16
I2	0.207	0.09	0.212	0.09	0.236	0.11	0.266	0.12
I3	0.203	0.10	0.226	0.10	0.227	0.10	0.236	0.12

Table 6
Within-trial means and coefficients of variance (CV) of the temporal variables in the temporally constrained condition.

Subject	Beat interval (ms)							
	301		430		521		628	
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
<i>Time flight: T_f (in s)</i>								
E1	0.504	0.04	0.677	0.03	0.770	0.04	0.885	0.02
E2	0.571	0.03	0.679	0.03	0.707	0.02	0.828	0.03
E3	0.506	0.03	0.565	0.03	0.664	0.03	0.818	0.02
I1	0.491	0.05	0.622	0.07	0.742	0.04	0.799	0.07
I2	0.520	0.04	0.651	0.03	0.764	0.03	0.878	0.03
I3	0.525	0.03	0.618	0.04	0.712	0.04	0.841	0.04
<i>Time loaded: T_L (in s)</i>								
E1	0.334	0.06	0.618	0.04	0.787	0.07	1.023	0.05
E2	0.336	0.06	0.471	0.13	0.856	0.04	1.070	0.05
E3	0.384	0.05	0.607	0.06	0.817	0.06	1.085	0.04
I1	0.404	0.10	0.664	0.08	0.804	0.07	0.994	0.08
I2	0.379	0.08	0.648	0.06	0.806	0.04	1.010	0.07
I3	0.367	0.04	0.670	0.04	0.861	0.06	1.050	0.04
<i>Time unloaded: T_U (in s)</i>								
E1	0.225	0.07	0.244	0.07	0.250	0.12	0.249	0.09
E2	0.269	0.07	0.294	0.10	0.188	0.12	0.200	0.11
E3	0.209	0.08	0.178	0.08	0.171	0.10	0.184	0.11
I1	0.188	0.10	0.193	0.21	0.222	0.16	0.200	0.16
I2	0.220	0.10	0.219	0.07	0.239	0.05	0.248	0.17
I3	0.226	0.10	0.189	0.13	0.188	0.15	0.213	0.08