

## Gaze fixation improves the stability of expert juggling

Joost C. Dessing, Frédéric P. Rey & Peter J. Beek

Experimental brain research, Vol.216, No.4, pp. 635-644, 2012

### Abstract

- 凝視箇所のある固定有・凝視無し条件で、エキスパートとノービスに 3 ボールカスケードを行わせ、身体動作のばらつきを検証した。
- エキスパートについては、凝視箇所のある固定有の方が有意にばらつきが小さかった。

### Introduction

- 視覚的探索に関する研究(例:凝視するポイントの逸脱)は、エキスパートとノービス間で情報抽出における改善の違いを明らかにした。
- 凝視箇所のある固定は視覚運動の協調や見解に関する重要な側面を持っている。
  - 例えば、ジャグリングは手よりも明確な、対象物に対する密な追跡が求められる。
- Austin (1976) は、3 ボールカスケードを維持するために、焦点の絞り約 25mm を通して、頂点周辺のボールを見ることが重要であると主張した (Fig.1)。
- Huys and Beek (2002) によると、ノービスのジャグラーは放物線を描くボールの頂点に近い位置で凝視箇所を変える、つまり、ボール間で連続的に視覚的注意を分配させることを示唆した。
  - エキスパートは基本的に凝視箇所を限定する、固定させる。
  - 同時にエキスパートはその凝視を逸脱させることもあり、それはボールの動きに関連する。
- 凝視の固定に関する現象の説明の 1 つに眼球運動、あるいは注意システムで生じる儉約がある (e.g., Beek and Lewbel 1995; Huys and Beek 2002)。
  - 眼球運動の儉約は、エキスパートの優れたトスの正確性によるものであり、視覚によるエラーをより少なくし、ジャグリングを継続させることを可能にする。
  - 注意の儉約は、エキスパートが同時に全てのボールに注意を向けることを学習する際に (Cavanagh and Alvarez 2005)、注意をシフトする必要性を排除する。
- 「儉約」の観点からの説明は、完全なる凝視箇所のある固定がジャグリングのパフォーマンスに恩恵をもたらすことを意味するのではなく、“よりシンプル”な知覚運動の戦略によるものである。
- もし、より安定した凝視箇所のある固定と共に運動が向上するならば、トスの正確さも向上するだろう。
  - 安定した凝視は、注意が視覚的領域を通して分配される“visual pivot (視覚の旋回)”を提供するかもしれない (Williams and Davids 1998; see also Shulman et al. 1979)。
- 先行研究は、エキスパートのジャグラーに対して調査されることが多い。
  - 本研究は、ノービスのジャグラーはエキスパートのように技術的に凝視箇所を安定することから恩恵がもたらされるのか、運動に影響を与えるのかを検証する。
  - 凝視箇所のある固定においてどこが好ましいのか解明されていないことから、今回、複数の凝視箇所を設定した。

## Method

### Participants

- (著者1名を含む)エキスパート5名とノービス5名(3人の男性と2人の女性)が実験に参加した。
  - エキスパートは安定して5個以上のカスケードができる。ノービスは1分ぐらいしか3ボールカスケードができない。
- 参加者は19~35歳(平均25歳)である。
- エキスパート5名とノービス3名が右利きであった(残りは左利き)。
- エキスパート1名とノービス2名は利き目が左であった。

### Experimental setup

- ビデオ計測を向上させるために、参加者は大きな黒いカーテンの前に立ってもらい、かつ、黒い服やバンダナを着用してもらった (Fig.2).
  - 顔や手を化粧で黒くした。
  - これは、手からの視覚情報を遮るものではない。
- カスケード中に凝視するターゲット(赤い木製の直径10mmの玉)が高さ4mの鉄の棒から半透明の糸で吊るされた。
  - 凝視ポイントの位置は、眼同士の間で0.25, 0.40, 2.00m離れた位置であった。
- 2台のハイスピードカメラが設置された。
  - 参加者の胸を捉えた。
- 加えて、ボールと服のコントラストを強めるために、4つの照明が使用された。
- 親指と人差し指の間に位置する箇所3か所マーカーを取り付けた。
  - 加えて、ヘッドバンドにもう、3つマーカーが付けられた。
  - 2台のオプトラックカメラでマーカーの位置を捉えた。
  - 3次元計測を行うために、キャリブレーションボードが設置された。

### Procedure

- 実験に先立って、凝視する位置を決めるために地面からの目の高さを測定した。
- 参加者は全ての実験条件(特定の凝視する箇所)で3ボールカスケードをするように求められた。
  - 凝視を強制しない条件でもカスケードを行った。
  - 全ての条件をランダムに連続2回ずつ繰り返した。
- 参加者が、カスケードが安定してきたと伝えてから、計測し始めた。
  - もし、20s以上できなかった場合はもう一度、行った。
  - 3回連続できなかった場合は、その条件をスキップした。

### Data analysis

- 手の初期位置はマーカーが取り付けられた所の平均的な位置から定義された。
- 手やボールの軌跡は、トスやキャッチを決めるために利用された。
  - トス…ボールの底の位置が手の位置より高くなる直前
  - キャッチ…ボールの底の位置が手の位置より低くなる直前

- ヘッドバンドの真下 0.05m が垂直座標(z 軸)の基準とした。
  - ◇ そこから, 奥行方向を(y 軸), 水平方向を(x 軸)とした.
- 3次元でトスやキャッチの位置を測定し, 平均と標準偏差を求めた。
  - それぞれの手で計測し, 2回の繰り返した結果を左右の手, まとめて平均化した.

#### Statistics

- エキスパートとノービスでそれぞれ, 0.25, 0.40, 2.00m の凝視ポイントを見た条件, 凝視を強制しない条件で身体動作のばらつきが評価された.
- ノービスは 0.25, 0.40, 2.00m のうち, 2つの条件でしか課題を達成することができなかった。
  - 各凝視ポイントで比較をするために達成できなかったデータについて補正が行われた.

#### Results

##### Task performance

- Table1 は, 各条件におけるボールを落とした回数を示しており, エキスパートとノービスではパフォーマンスがかなり違うことを示している。
  - エキスパートは全ての条件をこなしたが, 何人かは 0.25m 条件で失敗を経験した.
  - 0.25m 条件はジャグラーにとって, 最も当たり前でない凝視ポイントであった.
- ノービスは, 0.25m 条件と 2.00m 条件でより多く失敗した.
- Fig.3 は, 全ての条件におけるエキスパートとノービスによる, 垂直と奥行方向に関するボールの軌跡(黒色)を示している。
  - エキスパートがトスしたボールの一貫性は, 凝視するポイントが高くなるに連れて増加した.
  - 一方で, ノービスは, 凝視によって軌跡に変化は見られなかった.
- Fig.4 は, エキスパートとノービスに対する, 全ての条件におけるトス・キャッチの 3次元での位置を示している。
  - エキスパートもノービスも 0.40m 条件では, 身体に近い位置でボールのトス・キャッチを行っている (toss/experts:  $t(4) = -5.24$ ;  $p = 0.0063$  [ $P_{crit} = 0.0253$ ]; toss/novices:  $t(4) = -6.42$ ;  $p = 0.0030$  [ $P_{crit} = 0.017$ ]; Fig. 4b; catch/experts:  $t(4) = -8.71$ ;  $P_{crit} = 0.00096$  [ $P_{crit} = 0.017$ ]; catch/novices:  $t(8) = -4.60$ ;  $P = 0.010$  [ $P_{crit} = 0.0253$ ]; Fig. 4e).
- エキスパートでいえば, 奥行方向におけるキャッチの空間的ばらつきが 0.40m 条件の時は, 凝視を強制しない時に比べて, 有意に小さかった ( $t(4) = -4.84$ ;  $p = 0.0084$  [ $P_{crit} = 0.017$ ]; Fig. 5e).
- 2.00m 条件の時は, 凝視を強制しない時に比べて, 水平方向においてばらつきが有意に小さかった, ( $t(4) = -5.93$ ,  $p = 0.0040$  [ $P_{crit} = 0.017$ ]; Fig. 5d).
- 前者は, 0.40m 条件において身体の近くに手が動くジャグリングパターンの修正に関連している。
  - ノービスにはこのような傾向はなかった.
- キャッチする位置のばらつきを小さくする要因を調査した。
  - 全ての方向においてキャッチする位置のばらつきは, トスする位置やリリースする速度のばらつきと(ボールの)滞空時間のばらつきとの組み合わせで決まる.

- 0.40m 条件は、奥行方向におけるトスする位置やリリースする速度の両方で、凝視を強制しない条件に比べて有意にばらつきが小さかった( $p = 0.024$  and  $p = 0.019$ , respectively [ $P_{crit} = 0.017$ ]; Fig. 6a).
  - 奥行きにおけるキャッチする位置のばらつきの減少は、上記の 2 つの要因の組み合わせによって成立することを示唆する.
  - 2.00m 条件では、上記のような有意差は示されなかった.
    - ◇ 水平方向におけるキャッチする位置のばらつきの減少は、トスやキャッチするタイミングといった様々な要素の微細な調整によって成立することを示唆する.

## Discussion

- 本研究では、なぜ、エキスパートのジャグラーが各ボールを見るのではなく、軌道の真ん中(頂点)を凝視する傾向があるのかを検証した.
- 視覚箇所固定は、視覚運動の儉約を示唆する.
  - “よりシンプル”な視覚運動の戦略が素晴らしいトスの正確性とエラーの修正を可能にする.
    - ◇ 安定した凝視は、運動のコーディング、あるいは注意メカニズムによって運動計画の改善をもたらす.
- ばらつきの観点において、エキスパートは、凝視を強制されることでパフォーマンスに恩恵がもたらされた(例:キャッチするばらつきが小さくなった).
  - 0.40m 条件では、身体の近くでキャッチやトスを行った.
    - ◇ 関連するばらつきの減少は、0.40m の明確な固定というより、特定の箇所の凝視ではなく、単に手の動作空間における特徴的変化による可能性を排除することはできない.
    - ◇ なぜ、凝視を強制しない条件では、上記のようなジャグリングパターンの変化がなかったのか疑問が生じる.
  - 2.00m 条件での水平方向におけるばらつきの減少は、トスやキャッチする位置に変化がなかったため、凝視箇所の固定による可能性を示唆した.
- ノービスは、凝視の固定によってトスやキャッチのばらつきが減少することはなかった.
  - 凝視ポイントが高い条件ではカスケードを成功させたが、低い条件では失敗した.
    - ◇ 好ましくない凝視の固定はパフォーマンスを低下させるかもしれない.
- 脳内では、ジャグリングを学習する時に内側側頭部の灰白質 (Draganski et al. 2004; Driemeyer et al. 2008) や後頭頂葉の白質 (Scholz et al. 2009) が大きくなることが示唆されている.
  - 後頭頂葉が視覚に基づく運動計画に重要な役割をする一方で (Ilg 2008; Born and Tootell 1992), 内側側頭部は目の動きや対象や背景の動きのコーディングに関連する (Crawford et al. 2011).
- 真ん中を凝視するようにコーディングするこれらの領域は、凝視の訂正・シフトを行う (Crawford et al. 2011).

- 安定した凝視を実現する.
- 安定した凝視は、注意システムを介して運動計画を向上させる.
  - Williams and Davids (1998) や Shulman et al. (1979) は、凝視の固定が視覚領域を介して注意の配分を行う“visual pivot”を供給するかもしれないこと示唆した.
- 多くのスポーツにおいて、エキスパートは、明確な凝視戦略を用いる (e.g., de Oliveira et al. 2008; Janelle et al. 2000; Vickers 1996).
  - ジャグリングは、明確な指示がなくても凝視が表れる典型的なスポーツである.
    - ◇ 今回の結果は、特定の対象を凝視することがスポーツのある状況において恩恵をもたらすことを示唆している.
- 明確な凝視に関する指示がジャグラーの動きをより早く安定させるのかどうかは、今後の調査課題である.

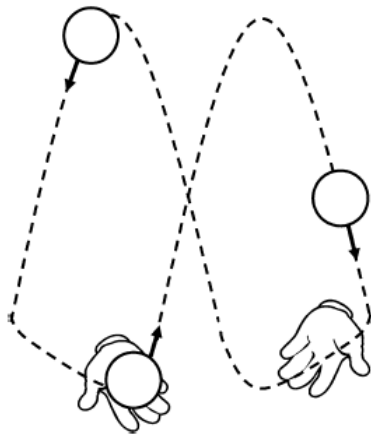


Fig. 1 Schematic representation of the 3-ball cascade juggling pattern



Fig. 2 Cartoon of the experimental setup, showing the lever, fishing line, and bead used to present the fixation point in front of the participant

Table 1 Number of drops for the experts and novices [Mean (SD)]

	Novices	Experts
Free viewing	0.6 (0.9)	0 (0)
Fixation at 0.25 m	3 (0)	1.4 (0.6)
Fixation at 0.40 m	0.4 (0.6)	0 (0)
Fixation at 2.00 m	1.2 (1.3)	0 (0)

Maximum number of drops for any condition is 3

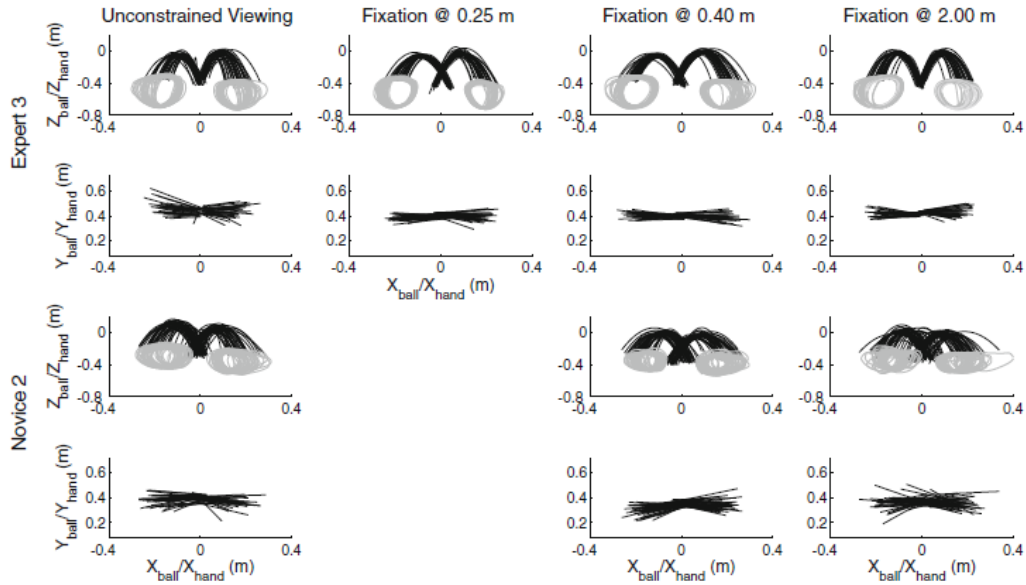


Fig. 3 Exemplary ball trajectories (front and top views) in the first trial for each fixation condition of one expert and one novice juggler. The corresponding hand trajectories are also depicted in gray in the front views; for clarity, these are omitted in the top views

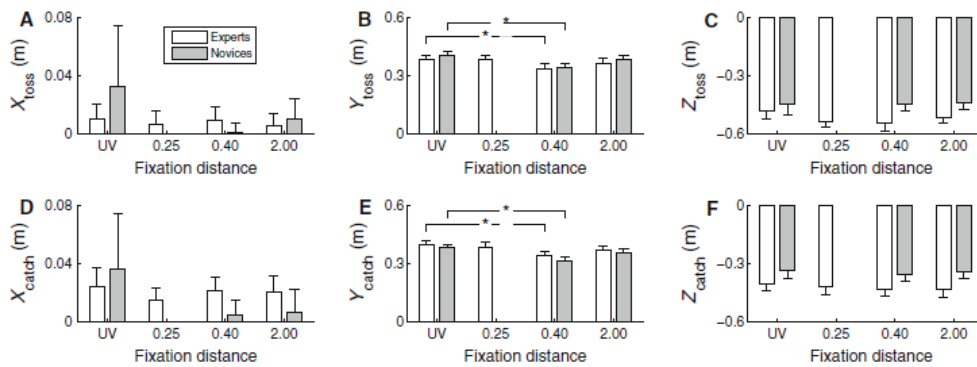


Fig. 4 Average of the toss positions ( $X_{\text{toss}}$ ,  $Y_{\text{toss}}$ , and  $Z_{\text{toss}}$ ; top panels) and catch positions ( $X_{\text{catch}}$ ,  $Y_{\text{catch}}$ , and  $Z_{\text{catch}}$ ; bottom panels) for unconstrained viewing (UV) and for fixation at 0.25, 0.40, and 2.00 m ( $X$ : lateral direction, right is positive;  $Y$ : depth direction, forward is positive;  $Z$ : vertical direction, up is positive). Values for experts and novices are indicated by white and gray bars, respectively. The three columns correspond to the three dimensions. Error bars indicate standard errors. Significant effects are indicated by an asterisk

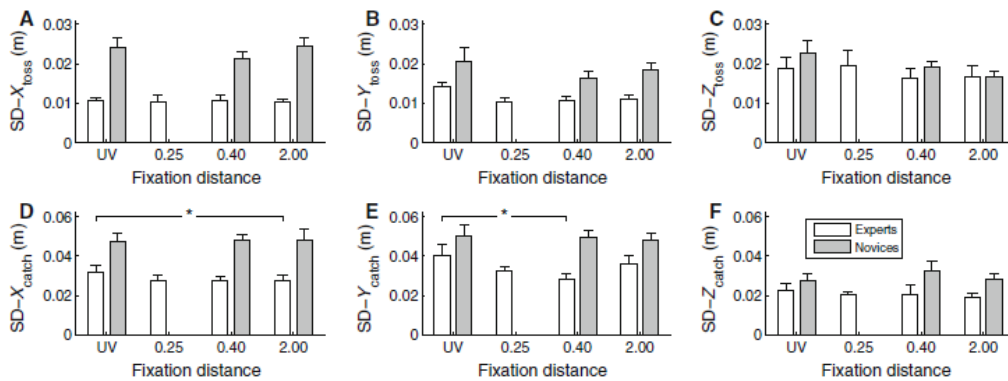
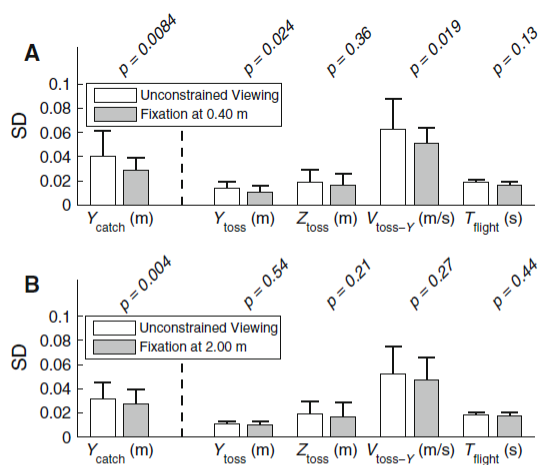


Fig. 5 Average standard deviations (SD) of the toss positions ( $X_{\text{toss}}$ ,  $Y_{\text{toss}}$ , and  $Z_{\text{toss}}$ ; top panels) and catch positions ( $X_{\text{catch}}$ ,  $Y_{\text{catch}}$ , and  $Z_{\text{catch}}$ ; bottom panels) as a function of the experimental conditions and expertise (experts: white bars; novices: gray bars;  $X$ : lateral direction, right is positive;  $Y$ : depth direction, forward is positive;  $Z$ : vertical direction, up is positive). Error bars indicate standard errors. Significant effects are indicated by an asterisk



**Fig. 6** Follow-up analyses of the significant effects of fixation on juggling variability of experts. **a** Standard deviation (SD) of catch position in depth ( $Y_{catch}$ , in m), toss position in depth ( $Y_{toss}$ , in m), toss height ( $Z_{toss}$ , in m), release velocity in depth ( $V_{toss-Y}$ , in m/s), and the flight time ( $T_{flight}$ , in s) for unconstrained viewing and fixation at 0.40 m. **b** SD of lateral catch position ( $X_{catch}$ , in m), lateral toss position ( $X_{toss}$ , in m),  $Z_{toss}$  (in m), lateral release velocity ( $V_{toss-X}$ , in m/s), and  $T_{flight}$  (in s) for unconstrained viewing and fixation at 2.00 m. *P* values of the respective effects of fixation are indicated above the bars

※Fig.6b の ”Y” は全て ”X” に修正