

Coordination changes in the early stages of learning to cascade juggle

Pamela S. Haibach Gregory L. Daniels, Karl M. Newell

Human Movement Science 23(2004) 185-206

Abstract

- ジャグリングの技「3 ボールカスケード」の動作フォームにおける身体の動きの協調変化を検証した。
- 練習を重ねると空間的・時間的な動作の収束があり、8字を描くジャグリングの型が構成される。

1. Introduction

- 新しいフォームの学習は、新たな空間的・時間的構成を形成することを意味する。
- カスケードは腕とボールによる周期性を持つ協調が特徴である熟練した行為である。
- もう一方の手に向かって目線ぐらいの放物線を描くようにボールを放るまたは手を“下ろす”。2つ目のボールは1つ目のボールがキャッチされるよりも先に、もう一方の手に向けて放物線を描いて放される。
- ボールをキャッチした回数はジャグリングにおける典型的な学習指標であるが、手とボールにおける時間的・空間的関係性の構成はジャグリングのスキルを学ぶ上でカギとなる(e.g. [Knapp and Dixon, 1950] and [Knapp and Dixon, 1952]; Peterson, 1919; Swift, 1903).
- Claud Shannon は、最初にジャグリングの時間的な規則を表す式を見出した(Beek, 1992).
 - $B/H=(T_L+T_F)/(T_L+T_U)$ (1)
 - Bはジャグリングされたボールの数、Hはそれに対する手の数である。
 - T_L は手がボールと共に放られた各時間であり、 T_U は手を下ろした各時間であって、 T_F は各ボールの滞空時間である。
- Beek(1992)はボールの数の増加に伴い、より時間的構成を定義化した式を見出した。
 - 割合を表す k は手の周期時間尺度($k=T_L / (T_L+T_U)$)として使用された。
 - 3 ボールカスケードの熟練者がとる k の範囲は 0.54~0.83 で、平均は 0.71 で k はより早いジャグリングの周期に対してより小さい値をとることがわかった。
- (Beek, 1989)では2つのキャッチ間での手がボールをつかむ“わずかな時間”を定義した。
 - その値の範囲が大きければ大きいほど、ボールの衝突が起こる可能性がより少なくなる。
 - ◇ 滞空するボールの平均時間数 (B^*) が減少する事実によるものである ($B^*=B-Hk$).
 - ✓ 逆にいえば手がボールと接触する時間が増加した時、より多くの時間を適切なスローイングに利用できると考えられる。
 - ノービスのジャグラーはより洗練されたトスを行うためにより B^* を大きくしようとするが、その一方で熟達者はより小さな値にしようとする。

- ◇ 空中にあるボールの全体時間がより長くなるため、ボールをキャッチするのに多くの時間を費やすことができ、ジャグラーのより優れた柔軟性を可能にする(Beek & Lewbel, 1995).
- 本研究はカスケードジャグリングにとってのタスクに関連する協調形式の構成を調査した。
 - ジャグリングの学習の先行研究では、できない状態からカスケードのパターン生成に向けてジャグリングを学習する過程は調査していなかった。
 - 今回の実験ではジャグリング学習の初期段階、特に 8 字を描く腕パターンの動きを生成する最初の 6 つのボールの終了時を優先し、ジャグリングの協調パターンにおける空間的・時間的フォーメーションを調査する。

2. Method

2.1 Participants

- Pennsylvania 州立大学の 8 人の学生（男性 5 人、女性 3 人）が参加
 - 年齢は 19 歳~28 歳までで、ジャグリングが彼らにとって完全に初心者であることに基づき選抜された。
 - 参加者は全員右利きである。

2.2 Task

- 課題はカスケードという技で「3つのボール使ってジャグリングを行い、できるだけ連続してボールをキャッチすること」である。
- 3つのボールで上手くジャグリングをするために参加者は Shannon 尺度（1章の式(1)）(Horgan, 1990)を満たさなければならない。
- 参加者はトスとキャッチングのタスクを習熟させるためにまず、1つまたは2つのカスケードを実験前に練習してもらった。
- その後、参加者は4週間を通して8セッションの間、研究所で実験を行った。
 - 彼らは1週間に3回、1回毎に20分間ジャグリングをするようにと指示された（その前に15分間のウォーミングアップがある）。
 - ◇ 12回練習を行った（#1セッションが練習何回分なのかは不明）。
- 研究所の外で練習を続けることや、その練習の詳細を記録するように指示された。
 - 参加者は外での練習で終わらせた際にパフォーマンスを適切に記録した。参加者が外部作用なしでの課題に対して十分注意を払ったことも確認された。
- もし、参加者が6連続キャッチできたならば研究参加に対する最初の謝礼30ドルに加えて20ドルを与えた。
 - 追加の謝礼として最も多い連続キャッチを達成した参加者や、最後の2セッションで平均キャッチ数が最も高かった参加者には20ドルのボーナスを与えた。

2.3 Apparatus

- 3つの Klutz 社のジャグリングボールを使用した。
 - 各参加者は研究所の外で練習するためにセットで3つのボールを渡された。
- ビデオの映像と動作分析の記録とを同期させるために、各参加者はうすい白の手袋と、人差し指周辺に巻かれた黒のバンドを身に付けた。
 - Peak Motus は特定のジャグリング試行で6か所をデジタル化するために使用され、2つの手、3つのボール、胴に付けられた。
 - そのデジタル化されたポイントはそれぞれの手の指の真ん中部分と各ボールの中心、胴である。胴は胸骨の最上部に黒の点を置くことで計測された。
- 8mm の商品用ビデオカメラ・レコーダー（1秒あたり60フレーム）は動作情報を得るために使用された。
- ビデオの記録は参加者から4.5m離れた正面の平らな所に設置された。
 - この配置で参加者はジャグリングの間に最低限の移動が可能になった。
 - ビデオはボールの軌道（放物線）の頂点を取り損ねないように放物線の全てを記録できるように設置された。
 - ☆ ビデオは最適な映像を撮影できるように各個人の参加者の滞空（放物線）パターンに合わせて調整された。

2.4 Procedures

- 実験に先立って参加者は2つのジャグリングボールを与えられ、2週間の間に1ハンド（ボール）ジャグリング、続いて2ハンド（ボール）ジャグリングを練習するように指示された。
- 2ボールジャグリングへの教示は2つの別の放物線を描き、参加者にボールのキャッチと同様に3ボールジャグリングのトスに対応できるように練習することであった。
- 2週間の1ボール、2ボールジャグリングを練習した後、参加者は実験に参加した。
- 参加者はプロが3ボールカスケードジャグリングを行っている1コマを視聴した。

2.5 Data of analysis

- 連続してキャッチしたボールの回数はセッションを通して試行毎に記録された。
 - 成功したキャッチは調査者によって数えられ、分析が行われた。
- データは最も連続キャッチした回数や平均キャッチ回数を使用し、定量化を行った。また、パフォーマンス曲線やそのグラフはそれぞれ参加者毎に描かれた。
- 1試行は1, 2, 3周期が分析された。
 - 1周期はそれぞれのボールをトス・キャッチすることを考慮されている。
 - ☆ 1周期に3回のトスとキャッチがある。
- Peak Motus のキャリブレーションは、ボールトスの高さ、ボールリリースの高さ、ボール

をキャッチする高さを比較することを可能にする。

- ボールトスの高さはリリース点から（放物線の）頂点まで計測される。
- ボールのリリースやキャッチする高さは、ボールが(手の定位置から)最初に手を離れた位置や最初に手に触れた際における手の空間的な位置を測ることで分析された。

3. Results

3.1 Ball juggling performance

- Fig.1 はセッション毎のジャグリングされた平均回数に関するパフォーマンス曲線を表したものである。
 - 全ての参加者は調査のかなり早い段階でボールを 2 周期以上ジャグリングすることができるようになった。
 - ◇ 参加者はセッションを通し有意に増加させ、パフォーマンスを向上させた($F(7, 56)=3.07, p<0.01$).
 - セッションにおける最高連続キャッチの平均回数は 357.25 で 1 つの試行内での最高連続キャッチ数は 858 であった(Participant #6).
 - ◇ 彼はセッション 1 では平均 2.42 と最も低いパフォーマンスを行った 1 人であった。
- 全ての参加者は 1 キャッチないし 2 キャッチを 1 セッションでできるようになり、2 キャッチから 3 キャッチも 1 セッションでできるようになったが、3 キャッチから 4 キャッチへは 1~5 セッション掛かり、5 キャッチから 6 キャッチは (その後の) 1 セッション内のできるようになった。
 - ジャグリングのスキル習得において主な障害は 3 キャッチから 4 キャッチへの推移である。

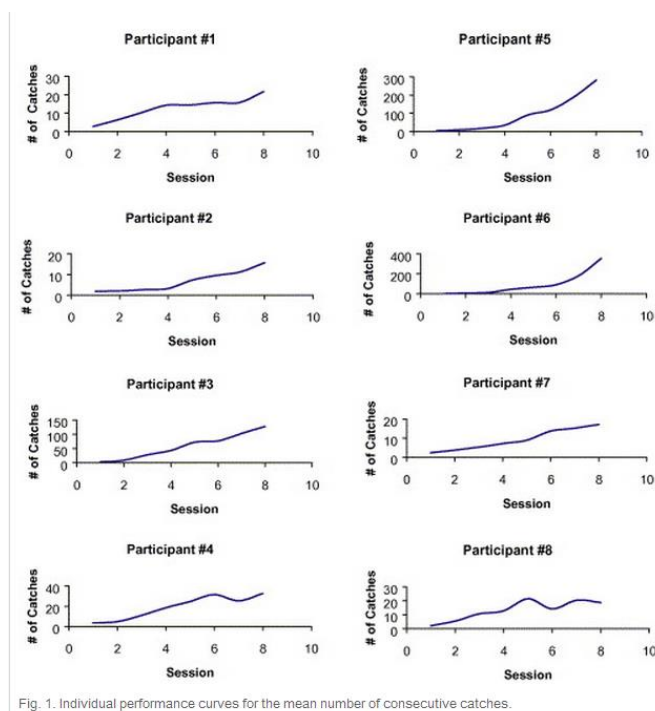


Fig. 1. Individual performance curves for the mean number of consecutive catches.

3.2 Movement coordination pattern

3.2.1 Handball motions prior to the assembly of one cycle

- 1 周期の 3 連続のトスやキャッチがどのように構成されたのかを示すために各参加者のま
さに最初の試行が分析された。
 - 特に注目する点はジャグリングのフォームを学習する過程における手とボールの動
きの空間的・時間的性質の変化するパターンであった。
 - ◇ Table2 は 1 回だけキャッチが成功した試行と 2 回成功した試行での失敗したイベ
ントの頻度を示している。
- 1 回目のキャッチの試行では、失敗の 19%が“hand-off”という「最初のボールをおおよそ
頭の高さで軌跡の頂点になるようにトスしたが、反対の腕の前で落ちた」ことが明らかにな
った。
 - 2 回目のキャッチの試行では“hand-off”がボール 3 の hand-off を示す。
 - ◇ この問題は 2 回目のキャッチになると発生確率は 1%未満でほとんど消えた。
- Hand full はボールが 1 回目のキャッチで手がボール 3 を離さずに、2 回目のキャッチで 2
回目のトスに対するボール 1 が離されなかった時に起こった。
 - 1 回目のキャッチ、2 回目のキャッチ共に試行の約 20%で発生した。
- 1 回目のキャッチで発見された最も多いミスは垂直トス(44%)であった。
 - 垂直トスは水平面に対して 90 度もしくはそれに近い角度でボールがトスされること
である。
 - これは 2 回目のキャッチになるとわずか 21%になる。

- “Skipping ball #2 catch” は、ジャグラーが次のキャッチ（ボール 3）に集中してしまい、2 回目のキャッチを“忘れてしまう”ことである。
 - ボール 3 が普通はトスされないもしくは、垂直にトスされるので 1 回目のキャッチの試行ではほとんど発生しなかった（2%）。しかし、ボール 2 のキャッチに対する注意不足が 2 回目のキャッチの失敗で最も参加者の間で共通に起こった(41%)。

Table 2. The number and percentage of categorical events in 1-Catch trials and 2-Catch trials

Event	1-Catch	Event	2-Catch
Hand-off	23 (20%)	Hand-off	1 (<1%)
Hand Full (3rd ball)	21 (17%)	Hand Full	38 (22%)
Vertical Toss	51 (44%)	Vertical Toss	36 (21%)
Skipping ball 2 catch	2 (2%)	Skipping ball 2 catch	69 (41%)
Other	18 (15%)	Other	25 (15%)

3.2.2 Initial cycles of juggling

- ジャグリングの周期は手にあるボールの数がそれぞれ体を横切って放物線を描きながら放られ、3つの連続的なトスとキャッチが行われた時に終了とし、それを分析対象とした。
- 最後のセッションから計測された 4 周期分も分析対象となった。

3.2.3 Ball motion

- Fig.2(a)は方向要素としてのボールの動きの最大値を示している。
 - セッション毎の最大値において主効果があり、方向間でもあった ($F(3,56)=4.96$, $p<0.01$), ($F(1,56)=91.38$, $p<0.01$) (#この章でのセッションは 3 回分の練習である)。
 - しかし、セッションと方向間では交互作用はなかった($p>0.05$)。
- ボールの動きにおける空間的方向は Fig.3 で参加者とエキスパートに対してそれぞれ描かれている。
 - 学習者において練習を重ねるごとに学習者で 8 字構造が表れている。
 - 8 字のパターンはカスケードジャグリングの周期的なパターンを表す構造である。
 - ◇ 参加者は習熟するにつれてトスの軌跡がより明瞭になり、再生可能となった。

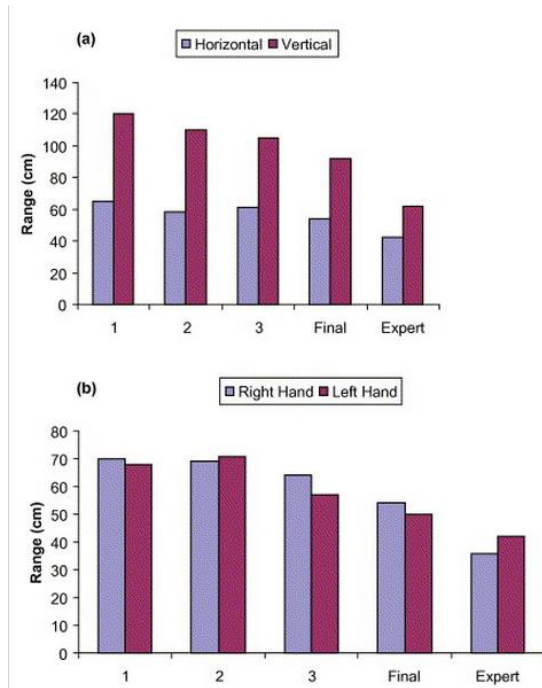


Fig. 2. (a) Maximal range of ball motion for both the vertical and horizontal planes, (b) maximal range of hand motion in horizontal plane for right and left hands as a function of achieving a 1, 2, or 3-cycle performance. The expert values on these variables are provided for comparison.

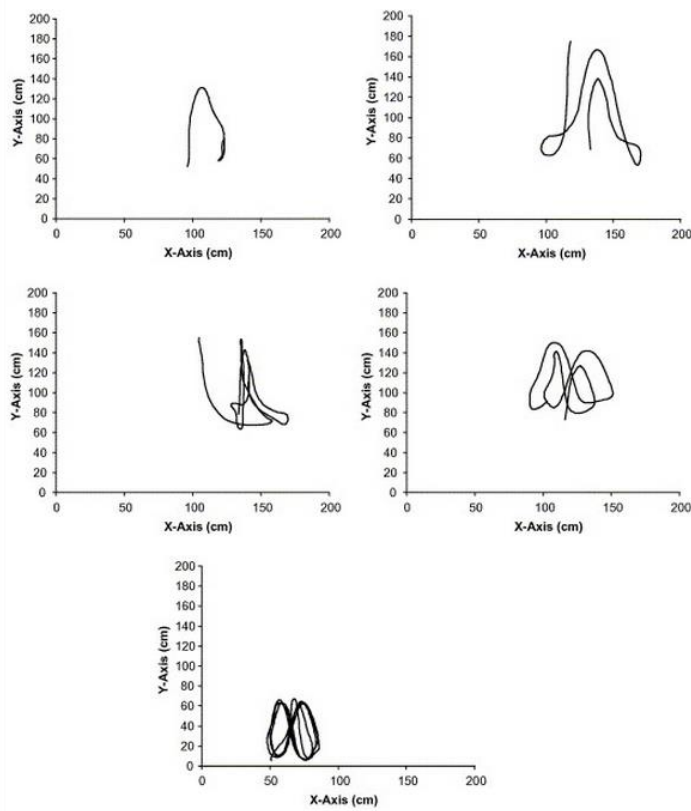


Fig. 3. Motion of Ball 1 (Participant #8) for (upper left) 1-cycle; (upper right) 2-cycles; (middle left) 3-cycles; (middle right) 4-cycles from final session; (bottom) expert. Range of motion in vertical and horizontal planes were significantly reduced, $F(3, 56) = 4.96, p < 0.01$.

3.2.4 Hand motion

- Fig.2(b)は水平面における手の動きの最大値を示している。
 - セッション毎に減少する手の動きの値に関して主効果があった($F(3,56)=4.76, p<0.01$)
(#この章でのセッションは3回分の練習である).
 - 手の主効果とセッションと手の間での相互作用はなかった($p's>0.05$).
- (Fig.4 より) 垂直的な腕の動きも動作範囲の減少が示された。
 - 左手と右手の関連動作として8の字パターンが現れた。
 - ◇ ジャグリング動作の構造を維持するうえで重要であった.
- 最後のセッションより、参加者はエキスパートの周期パターンと似たより動作が収束したパフォーマンスが可能になった.

3.2.5 Ball-hand relations

- Fig.4 では周期的なパターンの維持において、8の字パターンの学習が明らかになった。
 - ノービスにおいて始め(1周目)はトスとキャッチのタイミングが構造化されていない.
 - 全ての参加者は熟達に伴って外側でキャッチする回数が徐々に増加することが明らかになった($p<0.01$).
 - ◇ 参加者が1周期だけしかやり遂げることができなかった時には外側境界ではキャッチ(成功)が38%, 2周期なら67%, 3周期なら79%であった.
 - ✓ 熟達に伴うキャッチの軌跡において位置的な安定した外側への移動があった.
 - 右手と左手に対するボールをキャッチする位置がセッション毎に有意に変化した($F(3,28)=2.98, p<0.05$).
- k ($k=T_L/(T_L+T_U)$) は全てのセッションを通して平均0.63を記録した。
 - 熟達に伴って有意差な減少は発見されなかった($F(3,28)=0.29, p>0.05$).

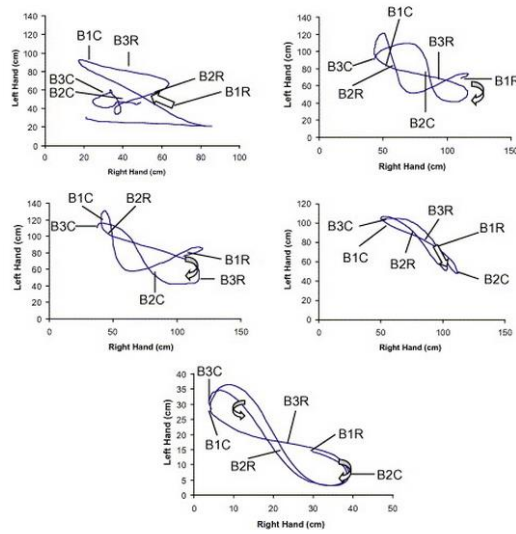


Fig. 4. Relative motion of participant #8 and expert data marked for pertinent cycle points. B1, B2, and B3 correspond to Ball 1, Ball 2, and Ball 3. R is the release of the ball, and C the catch, the point, which the ball was in grip of the hand. By the final session a distinct transition has occurred from that of the first three cycles. (upper left) One complete cycle; (upper right) two complete cycles; (middle left) three complete cycles; (middle right) four complete cycles; (bottom) expert data.

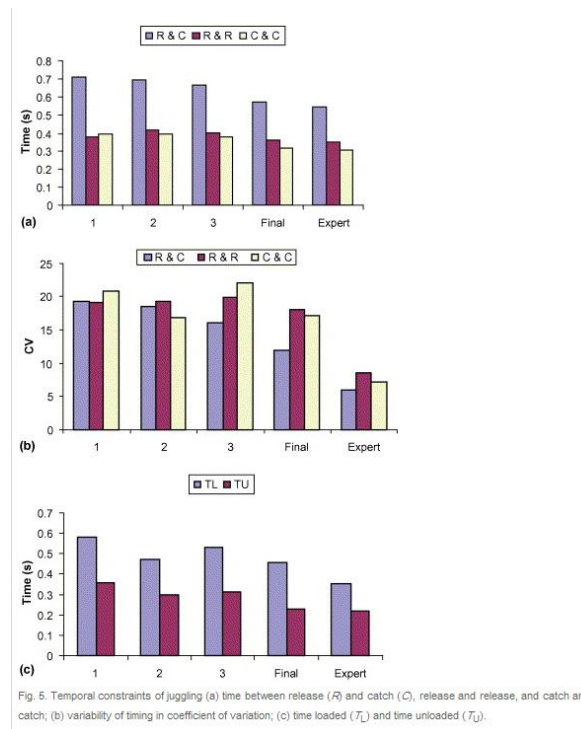


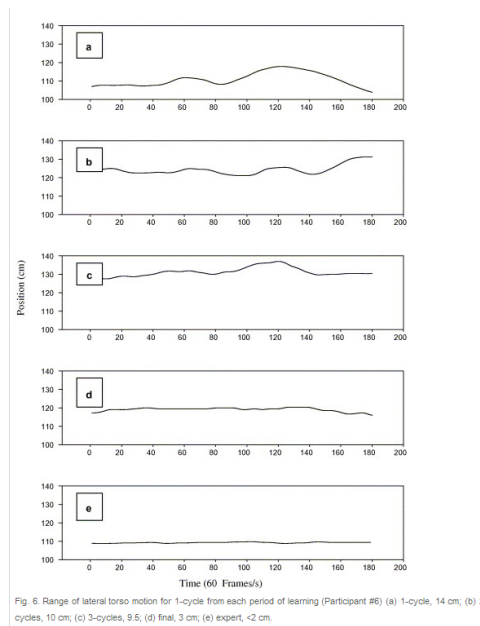
Fig. 5. Temporal constraints of juggling (a) time between release (R) and catch (C), release and release, and catch and catch; (b) variability of timing in coefficient of variation; (c) time loaded (T_L) and time unloaded (T_U).

- また、ジャグリングの周期からタイミングのデータは Shannon の式($B/H=(T_L+T_F)/(T_L+T_U)$)に置き換えられた。
 - 最終セッションにおいて全参加者の平均は、始めは 1.39, 2 周期目：1.53, 3 周期目：1.44 そして 4 周期目：1.51 で周期毎の違いはなかった。
 - ◇ その結果は 1.5 という値をとったエキスパートと似ていた。

- ✓ セッションを通して T_L は有意に減少したが、これはジャグリングの周期をやり遂げる参加者の能力に影響はないことがわかった。

3.2.6 Torso motion

- Fig.6 より、腰の動きの値はセッション毎に減少した、(F(3,28)=41.39,p<0.001).
 - ノービスは始め多量な腰の動きを始めるが、トスがより収束され適切になると腰の動きは最小化され、エキスパートの動きと似るようになる。



4. Discussion

- 本研究はカスケードジャグリングの習得過程から新しい動作の協調パターンを検証した。
 - ジャグリングの習得(e.g. Knapp & Dixon, 1950; Swift, 1903)に関しては動的なシステムの観点(Beek, 1992; Beek & Van Santvoord, 1992)も含めて多くの研究があるが、協調パターンの構成を直接的に検証した研究はなかった。
 - すでに構成された演技者の動的性に関するパラメータを主張するのとは異なり、新たな協調性の習得に関する主張を行った(cf. Newell, 1985).
- 全ての参加者はセッション 2 までに 6 連続キャッチとトス (1 周期) を成功させ、セッション 4 までにタスクの基準を達成することができた。
 - 結果として参加者は最終セッションまでに膨大な時間を費やし、まさに熟練したジャグラーになった。
- 腕の動作における空間的・時間的領域とともに、トスとキャッチが起こらなければならない特定の領域があることを示した。
 - 練習を通して参加者はこれらの空間的・時間的関係性を構成することや連続的なさら

なる安定したジャグリングパターンの強化することができるようになった。

- 6連続キャッチを実行するために Shannon の式を満たし、腕やボールの動作は共に特殊な構成になった。
 - ◇ 腕の動作はボールのトスに対して 8 の字を描き、手とボールの周期的な行動パターンを生成し、それはジャグリングの行動にとって重要である。
- 3~4 回目のキャッチへは手を反対方向へ動かすことが求められるのでジャグリング周期における大きい移動が見られた。
 - 2 周期目もしくは 4 回目のトスは反対の手を用いるので、反対の方向へ起点となる周期を開始する。
 - ◇ もし、ジャグリングパターンが右手で始まるならば 4 回目のトスは左手から起こる。3 つボールそれぞれがこの推移の前に一度トスされ、キャッチされる。
 - ✓ 4 回目のトスはジャグリングが始まらなかった手でボール 1 の 2 回目のトスである。
 - ✓ この推移は最も困難であることが示された。なぜなら通過するのに 1~5 セッション掛かっており、その一方で他の推移は 1 または 2 セッション以内に達成されたからである。
 - ✓ 1 度 6 連続キャッチが生成されると協調パターンの改善は Fig.1 で示唆されているように急速に起こった。
- 手を下ろす合計時間はジャグリングの動作において一定であった(Fig.5).
 - これは本来、ジャグリング動作のパターンにおいて重要な時間的要素であるという追加の証拠として発見された(Beek, 1989).
 - ◇ より高いトスのために、より高いポイントでボールをリリース・キャッチする前に手が持ち上げられる。ジャグラーがより習熟すればするほど、リリース前に持ち上げられる肢の合計時間を減らすことや、同じリズムでキャッチすることによってトスの高さは減少する。
 - ◇ 今回の実験ではそれを有意な減少は見られなかった。
 - ✓ 値は 0.61~0.66 で Beek と Lewbel(1995)の値より小さかったが、調査の目標はジャグリング周期の多様性を提案しているのではない。
 - ✓ 今回の調査で参加者は単にボールのキャッチ数を向上させているのではなく、彼らはこのタスクをこなすために最も十分なスピードを探っていた。
 - ✓ これは参加者の習熟レベルによるものだとも予測される。今回の調査ではジャグラーはノービスとして開始し、中間レベルまで進歩したが、Beek と Lewbel の研究(1995)ではエキスパートが分析された。
 - ✓ ノービスと中間レベルのジャグラー、エキスパートを比較するとエキスパートはジャグリングの周期を多様にすることができる。
- 各参加者はスキルを学習し、肢の周期的な動きに集中するうで胴の運動を最小限にした。

- この最小化された胴はトスの変動性を減少させ，“ボールを追う”のではなく，定位置にとどまるようになった。
 - ☆ 安定した位置が適切なトスをするためには必要なかもしれない。
- 今回の研究はジャグリングの協調パターンや練習を通して順応（スキルの獲得）を促進するための多くの要素が存在することを示した。
 - ジャグリングのフォームはボールトスの空間的・時間的性質のチャンネル（選択）から表れる。
 - ジャグリングの学習，例えば Shannon の式を満たす学習は認知・行動という周期における（認知に基づく）情報や（実際の）動作との相互依存を反映する(Kugler and Turvey, 1987).