

The influence of juggling on mental rotation performance in children with spina bifida

Jennifer Lehmann, Petra Jansen

(2012). *Brain & Cognition*, 80, 223–229.

Abstract

- 脊椎披裂を患っている子供たちを対象に、ジャグリング訓練が心的回転能力を向上させるのかを検証
- 訓練を行った子供たちは、訓練をしなかった子供たちよりも反応時間が有意に減少、心的回転の速さも増加

1. Introduction

- 脊椎披裂：胚形成の段階で神経管が閉じる先天性な病気
 - ヨーロッパで 1000 人に 1 人の発症率 (Masuhr & Neumann, 2005)
 - 脊椎に奇形が生じる
 - 歩行や排便のコントロール、運動が困難
 - 男子よりも女子に発生
 - 患者の 80%が水頭症を併発
 - ◇ 脳が異常に大きくなる症状
- 脊椎披裂の子供たちを対象にした認知能力に関する研究
 - IQ…脊椎披裂の子供 < 健常者, 学習遅延の子供
 - ◇ 脊椎披裂の子供…動作性 IQ < 言語性 IQ (Jacobs, Northam, & &erson, 2001; Lindquist, Carlsson, Persson, & Uvebrant, 2005; Wills, Holmbeck, Dillon, & McLone, 1990)
- 動作性 IQ が低い
 - 空間認識能力に機能的な障害がある可能性
 - ◇ 他を参照して特徴を見つける課題 (object-based visual perception task) よりも、自身で参照してゴールを見つける課題 (action-based visual perception task) で顕著
 - ◇ 後者は、課題を解決する過程で (対象を心的回転する等して) 多様な形状の表象を行う必要あり (Dennis, Fletcher, Rogers, Hetherington & Francis, 2002)
- 脊椎披裂の子供たちの腹側皮質視覚路は、背側皮質視覚路よりも損傷が少ない (Swain,

Joy, Bakker, Shores, & West, 2009)

- 前者は対象の認識や形状の表象の処理に関連，後者は対象の位置や動きの処理に関連
- 前者は健常者と変わらない

- 脊椎披裂の子供たちの視空間認識能力に関する研究
 - 視空間認識能力は運動能力と関連 (Jansen-Osmann et al., 2008)
- 発達性協調障害の子供たちは，心的回転における回転イメージを持つことができない (Wilson et al., 2004)
 - 発達性協調障害：運動障害．協調運動（例：歩行）がスムーズにできない
 - 視空間認識能力…発達性障害の子供 < 注意欠陥・多動性障害の子供 (Loh, Piek, & Barrett, 2011)
- 心的回転を行う際に背側皮質視覚路が賦活 (e.g. Podzbenko, Egan, & Watson, 2002)
 - 対象の位置や動きの処理が要求される課題において，脊椎披裂の子供たちはその能力が低い (Dennis et al., 2002)
 - ◇ 心的回転能力についても欠如している可能性あり
- 脊椎披裂の人に心的回転の訓練をすることで，反応時間が短縮 (Rizzo et al., 2001; Wiedenbauer's & Jansen-Osman's, 2007)
 - 実生活に組み込んだ形での訓練でも効果あり
- 脊椎披裂の子供たちを対象とした，空間認識能力に対する運動訓練の影響を検討した研究 (Wiedenbauer & Jansen-Osmann, 2008)
 - ジャグリング訓練が能力向上に効果的
 - ◇ 健康な子供において，心的回転のパフォーマンスが向上 (Jansen, Lange, & Heil, 2011; Jansen, Titze, & Heil, 2009)
- 学生に対してジャグリングは心的回転の反応時間を向上 (Jansen, Titze et al., 2009)
 - 90度と180度：向上，0度：向上なし
 - エラー率：ジャグリングの効果なし
- 発達性協調障害や脊椎披裂を始め，運動障害を持った子供たちは，心的回転のパフォーマンスが低い

- ジャグリング訓練は、心的回転に関連する頭頂間溝を活性化 (Draganski et al., 2004)
 - 心的回転のパフォーマンスを向上させる (Jansen, Lange et al., 2011; Jansen, Titze et al., 2009)
 - 本研究ではジャグリングが脊椎披裂の子供たちの心的回転能力を向上させるのかを検証

2. Method

2.1. Participants

- 脊椎披裂を患っている 19 人の子供
 - 女子 15 名, 男子 4 名
 - 8~12 歳 ($M=9.74$, $SD=1.45$)
 - 歩行可能 (補助有) 6 名, 歩行可能 (補助なし) 7 人, 車いす 6 名
- 参加者は、年齢・性別・認知処理速度に基づき 2 つのグループに群分け
 - 認知処理速度は Connecting Number Test (Oswald, & Roth, 1987) により計測
 - 実験群 (EG)…年齢 : $M=9.8$, $SE=1.6$, テストの成績 : $M=78.9$, $SE=11.1$
 - 統制群 (CG)…年齢 : $M=9.7$, $SE=1.4$, テストの成績 : $M=78.3$, $SE=8.0$
 - ◇ 年齢, 性別, 認知処理速度に群間での差はなし
- 19 名の参加者全員, ジャグリング経験なし
 - 金銭的報酬あり

2.2. ZVT

- Connecting Number Test
 - 10 行×9 列に 1~90 までの数字が不規則に並ぶ
 - なるべく、早く昇順にペンを使って数字を繋げる
 - ◇ 掛かった時間が計測
 - 4 セット, 合計の時間と平均時間が算出
- IQ テストとの相関 : $r = .60 - .80$ (Vernon, 1993)

2.3. Chronometric mental rotation test

- 心的回転テストを実験の最初と 8 週間後に実施
 - 17 インチのモニターから刺激提示
- 3 次元のキューブ 18 種類を使用 (Fig.1)

- Shepard & Metzler (1971) や Jansen-Osmann & Heil (2007) に基づく
- 刺激の大きさ (1 個) : 7cm × 7cm, 刺激間の距離 : 14cm
- 2つの刺激が同時にモニターに表示
 - 右の刺激は左の刺激と同一か, 左右反転
 - 回転角度 : 0 度 or 90 度 or 180 度 (時計 or 反時計回り)
- できるだけ早く, 右の刺激が左の刺激と同一か, 左右反転かを判断
 - 同一ならマウスの左を, 左右反転ならマウスの右を押す
- 各試行において 500ms のブラックスクリーンから始まり, 刺激が表れる
 - 参加者は判断が正解であれば “+”, 間違いなら “-” のフィードバックを受ける
 - ◇ Jansen, Titze et al. (2009) や Jansen, Lange et al. (2011) に基づく
 - ◇ フィードバックから次の試行が始まるまで 1500ms
- 計 324 試行実施 : キューブ 18 種類 × 2 パターン (同一 or 左右反転) × 回転角度 (0 度 or 90 度 or 180 度) × 3 度
 - 27 試行毎に休憩あり
 - テスト直前に 54 試行分の練習
- 同じテストを 8 週間後に実施

2.4. Mental rotation speed

- 心的回転は以下の段階で構成 (Shepard & Cooper, 1982; Heil & Rolke, 2002)
 - 刺激の特定
 - 心的回転
 - 判断 (同一 or 左右反転)
 - 応答選択 (マウスボタン左 or 右)
 - 実行 (マウスをクリック)
- 回転角度と反応時間が線形関係

2.5. Juggling training

- 週 1 回 1 時間 × 8 週に掛けて EG 群はジャグリング (カスケード) の訓練を実施
 - 各自の能力に応じた段階的な指導
 - ◇ 始めの段階 : スカーフ (1 枚 ~ 3 枚), 後の段階 : ボール (1 個 ~ 2 個)

- 成功したトスの回数が記録
 - 成功：トスされたスカーフがキャッチされる

- CG 群はジャグリング訓練なし
 - ジャグリング訓練を行うなど教示

- 3. **Statistical analysis**

- “同一である”と判断した正答だけ分析対象

- 反応時間 (RTs)
 - 各群や各参加者の平均より、2 標準偏差以下・以上のデータは分析から除外
 - ◇ EG 群…プレテスト：2.3%，ポストテスト：2.5%
 - ◇ CG 群…プレテスト：2.2%，ポストテスト：2.2%

- フィードバックの影響を調査
 - 12 ブロック (1 ブロック 27 試行) の間でエラー率に違いなし
 - ◇ $F(11,198) = 1.52, n.s., \eta^2 = .078$
 - フィードバックの影響なし

- 反応時間の差分を群毎に，心的回転毎に比較
 - 差分：ポストテストの反応時間 - プレテストの反応時間
 - エラー率も同様

- 運動能力による反応時間への影響（反応時間の差分）を調査
 - 歩行 対 車いすで群分け，群毎に，心的回転毎に比較

- 心的回転の速さを群毎に，テスト毎に比較

- 4. **Results**

- 4.1. **Improvement of juggling**
 - 1 人参加者 (No.2)を除いてパフォーマンスを向上 (Table 1)

 - 少なくとも 2 つのスカーフによるカスケードは達成

- 4.2. **Reaction time (Fig. 2)**
 - 角度要因の主効果なし

- $F(2, 34) = 1.475, n.s., \eta^2 = .080$
- グループ（群）要因で主効果あり
 - $F(1, 17) = 6.102, p < .05, \eta^2 = .264$
- 角度要因とグループ要因で交互作用あり
 - $F(2, 34) = 4.751, p < .05, \eta^2 = .218$
- 全ての回転角度で反応時間が減少（EG 群）
 - 0 度： $M = -687.51 \text{ ms}, SE = 208.47 \text{ ms}$;
 - 90 度： $M = -2014.75 \text{ ms}, SE = 828.17 \text{ ms}$
 - 180 度： $M = -1750.37 \text{ ms}, SE = 584.46 \text{ ms}$
- 減少が確認されない回転角度があり（CG 群）
 - 0 度： $M = -176.98 \text{ ms}, SE = 114.41 \text{ ms}$
 - 90 度： $M = 84.07 \text{ ms}, SE = 640.29 \text{ ms}$
 - 180 度： $M = 892.07 \text{ ms}, SE = 707.88 \text{ ms}$
- グループの効果量は、180 度が最も大きい
 - 0 度： $d = 1.08$
 - 90 度： $d = 0.91$
 - 180 度： $d = 1.32$
- 角度要因と運動要因（歩行可 or 車いす）で主効果・交互作用なし
 - 角度要因： $F(2, 34) = 1.04, n.s., \eta^2 = .058$
 - 運動要因： $F(1, 17) = .68, n.s., \eta^2 = .004$
 - 交互作用： $F(1, 17) = .51, n.s., \eta^2 = .003$
- グループ要因をまとめて、90 度と 180 度で反応時間に差異なし
 - プレテスト： $F(1, 18) = 3.830, n.s., \eta^2 = .175$
 - ポストテスト： $F(1, 18) = 1.492, n.s., \eta^2 = .077$

4.3. Error rate

- グループ要因で主効果あり
 - $F(1, 17) = 6.085, p < .05, \eta^2 = .264$
 - EG 群ではエラー率の低下, CG 群ではエラー率の増加

- ◇ EG 群 : $M = 6.06, SE = 1.80$
- ◇ CG 群 : $M = -1.26, SE = 2.40$

- 角度要因の主効果・交互作用なし
 - 角度要因 : $F(2, 34) = .233, n.s., \eta^2 = .014$
 - 交互作用 : $F(2, 34) = 1.168, n.s., \eta^2 = .064$

4.4. Mental rotation speed (Fig. 3)

- テスト要因とグループ要因で交互作用あり
 - $F(1, 17) = 8.62, p < .05, \eta^2 = .336$
- EG 群で速くなり, CG 群で遅くなる
 - EG 群 : pre: $M = 64.41$ 度/s, $SE = 10.45$; post: $M = 91.28$ 度/s, $SE = 12.41$
 - CG 群 : pre: $M = 105.47$ 度/s, $SE = 18.80$; post: $M = 63.90$ 度/s, $SE = 8.37$

4.5. Additional results for the experimental group (Fig. 4)

- EG 群における, 心的回転能力の持続効果を検証
 - 6 か月後に, 心的回転テストを再び実施
 - 再試験 (フォローアップ) の結果とプレテストの結果を比較
- 反応時間について, テスト要因と角度要因の主効果あり
 - テスト要因 : $F(2, 18) = 66.15, p < .01, \eta^2 = .880$
 - 角度要因 : $F(1, 9) = 13.45, p < .01, \eta^2 = .599$
- テスト要因と角度要因で交互作用あり
 - $F(2, 18) = 4.584, p < .05, \eta^2 = .337$
- 反応時間 : 0 度…フォローアップ < プレテスト
 - $F(1, 9) = 12.52, p < .01, \eta^2 = .582$
 - ◇ フォローアップ : $M = 1815.40, SE = 308.25$
 - ◇ プレテスト : $M = 2671.96, SE = 489.49$
 - その一方で, 90 度と 180 度でも同じ結果
- 90 度
 - $F(1, 9) = 8.769, p < .05, \eta^2 = .494$
 - ◇ フォローアップ : $M = 3696.85, SE = 316.71$

◇ プレテスト： $M = 6244.32$, $SE = 1003.45$

● 180 度

➤ $F(1, 9) = 16.72$, $p < .01$, $\eta^2 = .650$

◇ フォローアップ： $M = 4112.75$, $SE = 604.62$

◇ プレテスト： $M = 6007.49$, $SE = 769.90$

● 全ての条件（プレテスト，ポストテスト，フォローアップ）において，90 度と 180 度の間で差なし

➤ プレテスト： $F(1, 9) = 6.02$, $n.s.$, $\eta^2 = .063$

➤ ポストテスト： $F(1, 9) = .025$, $n.s.$, $\eta^2 = .003$

➤ フォローアップ： $F(1, 9) = 1.221$, $n.s.$, $\eta^2 = .119$

● 反応時間は，プレテストからポストテスト，フォローアップに掛けて減少

➤ 0 度

◇ プレテスト→ポストテスト： $d = 0.51$

◇ プレテスト→フォローアップ： $d = 0.66$

➤ 90 度

◇ プレテスト→ポストテスト： $d = 0.85$

◇ プレテスト→フォローアップ： $d = 1.14$

➤ 180 度

◇ プレテスト→ポストテスト： $d = 0.94$

◇ プレテスト→フォローアップ： $d = 0.87$

5. Discussion

● 心的回転テストにおけるジャグリング訓練の効果が示唆

➤ 全ての回転角度において示唆

➤ 大人や小学校高学年の子供を対象にした研究結果と一致 (Jansen, Lange et al., 2011; Jansen, Titze et al., 2009)

● 90 度と 180 度における，プレテストとポストテストで反応時間の差分なし

➤ (Jansen, Lange et al., 2011; Jansen, Titze et al., 2009) でも同じ結果

➤ 回転角度が増加すると，反応時間は線形的に増加

◇ 反応時間の差分において観察されない (Shepard & Metzler, 1971)

● 反応時間においても 90 度と 180 度の間で線形的増加は観察なし

- (Jansen-Osmann & Heil, 2007) と同じ結果
- 180 度の場合，回転させるのではなく，認知的負荷を減らすために反転を実行 (Neely & Heath, 2009, 2010)
 - ◇ 反転：ひっくり返す
 - ◇ 本研究においても，上記のような戦略が取られたかもしれない
- 脊椎捻裂の子供たちに対して，心的回転の訓練をすることは正の効果 (Wiedenbauer & Jansen-Osman, 2007)
 - 本研究は，先行研究の知見を拡大
 - 先行研究では，2次元の刺激がテストで使用
 - ◇ 本研究は，3次元の刺激
 - 先行研究は，訓練が24分間の1セッションのみ
 - ◇ 本研究は，1週間に1回の訓練を8週間
 - ✓ より，実生活に組み込んだ形での訓練
 - ✓ 子供たちにとってより適した訓練環境の提供
- 心的回転能力…脊椎捻裂の子供 < 健常者 (Wiedenbauer & Jansen-Osman, 2006)
 - 本研究は，ジャグリング訓練の恩恵を示唆
 - 特に，最初に心的回転能力が低い子供たちに対して訓練が有効 (Rizzo et al., 2001)
- 運動能力で差はなし
 - 脊椎捻裂の子供たちは，運動能力が乏しいにも関わらず，訓練の恩恵
- 心的回転能力の向上は半年間持続
 - ただし，同じ課題による学習効果があるかもしれないことを考慮する必要あり
- 心的回転の速さは，群間で違いあり
 - EG群ではプレテストからポストテストに掛けて増加
 - CG群ではプレテストからポストテストに掛けて減少
 - ◇ 脊椎捻裂の子供たちはジャグリング訓練によって速さを向上
- 3か月のジャグリング訓練は，心的回転に関連する頭頂間溝を活性化 (Draganski et al., 2004; Scholz, Klein, Behrens, & Johansen-Berg, 2009)
 - ジャグリング…対象物（ボール）の知覚や空間的予測に関連
 - ◇ 視覚野にある頭頂間溝に影響を与える

- 心的回転課題を行う際に、一次運動野が活性化 (Eisenegger, Herwig, & Jäncke, 2007)
 - ジャグリング…手の運動
 - ◇ 一次運動野が活性化 (Scholz et al., 2009)
 - ✓ 心的回転能力に影響を与えたかもしれない
- 脊椎披裂の子供たちは、心的回転に関連する課題に障害あり (Dennis et al., 2002)
 - ジャグリングを実行する能力も心的回転能力も、周期的な行動や時間・空間的な収束が要求 (Jansen, Titze et al., 2009)
 - ◇ ジャグリング…手の動きをそれぞれ楕円形に収束することが要求
 - ◇ 心的回転課題…3次元方向において対象を一定のポジションに周期的に回転させることが要求

5.1. Limitations

- 心的回転のパフォーマンス…ジャグリング訓練 > 訓練なし, 筋トレ訓練 (Jansen, Titze et al., 2009) (Jansen, Lange et al., 2011)
 - 単なる注意力の増加や行動を追加したことによってもたらされたという主張を排除するために、詳細に検討する必要あり
- フォローアップの結果は、心的回転能力の向上の持続を示唆
 - ただし、CG群に関してはフォローアップの再実験を行っていない
 - 上記について注意深く検討する必要あり
- 検討事項
 - ポストテストおける刺激(対象物)の変更
 - ジャグリング訓練で使う対象物の変更

6. Conclusion

- 脊椎披裂の子供たちに関してジャグリング訓練を行うことで、心的回転能力が向上
 - 訓練なし子供たちよりも反応時間が短縮
 - ◇ 半年後も持続
- 今後の課題
 - 脊椎披裂を患う別の世代にも訓練の効果があるのか
 - 脊椎披裂の子供たちを対象に、運動訓練により他の認知能力に影響があるのか
- また、別の神経障害を持つ人に対して、どのような運動訓練が心的回転能力を向上さ

せるのか

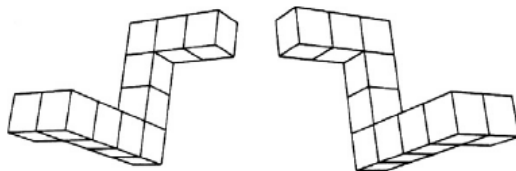


Fig. 1. Example of the cube figures used in the chronometric mental rotation test.

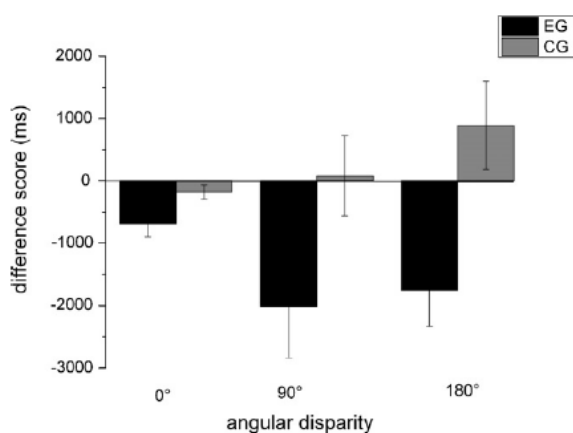


Fig. 2. Difference between the reaction times in the chronometric mental rotation tasks from post- to pre-test. A more negative score indicates a larger reaction time gain. The results are presented separately for each group and angular disparity. Error bars indicate standard errors.

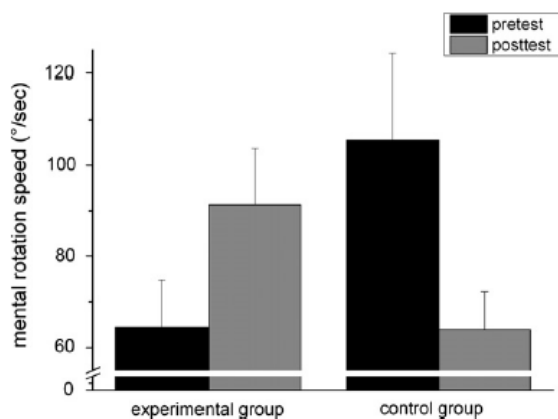


Fig. 3. Difference between pre- and post-test in mental rotation speed. A higher score indicates a faster mental rotation speed. The results are presented for each group and test time. Error bars indicate the standard error.

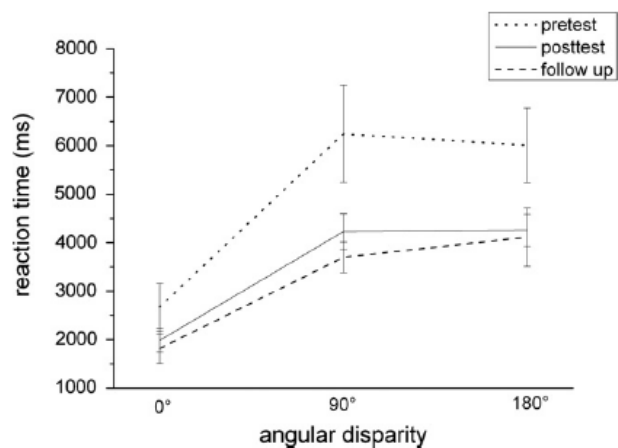


Fig. 4. Mean reaction times for the three different test points across the three different angular disparities in the experimental group.

Table 1
Improvement of juggling from pre- to post-test in the experimental group.

Participant	Pre-test				Post-test			
	2 Scarves	3 Scarves	1 Ball	2 Balls	2 Scarves	3 Scarves	1 Ball	2 Balls
1	-	-	-	-	>30	>30	20	4
2	-	-	-	-	6	3	-	-
3	20	-	-	-	>30	5	5	-
4	20	-	-	-	>30	3	2	-
5	2	-	-	-	>30	11	>30	6
6	-	-	-	-	>30	5	3	-
7	-	-	-	-	>30	9	>30	5
8	-	-	-	-	>30	3	4	-
9	20	-	30	-	>30	6	>30	4
10	>30	-	30	-	>30	>30	>30	16