

3次元多物体追跡（3D-MOT）トレーニングが新体操ジュニア選手のクラブの投げ・受けパフォーマンスに与える効果

The Effects of 3D Multiple Object Tracking Training on Performance in Club Throwing and Catching of Junior Rhythmic Gymnasts

渡邊奈々* 三輪康廣** 小林咲里亜*** 天野勝弘****

要旨 本研究では、3次元多物体追跡（3D-MOT）トレーニングをすることにより、新体操のクラブの投げ・受けパフォーマンスが向上するか検討した。新体操ジュニア選手 24 名の対象がマルチタスク群（MOT 群）、スポーツビジョン群（SV 群）、およびコントロール群（C 群）に分けられた。

結果は、MOT 群の MOT 能力の向上率と受けの向上率とは有意な相関が認められ、MOT でトレーニング効果があった選手が受けのパフォーマンスを向上させていた。しかし、受けのパフォーマンスが最も向上したのは SV 群であった。このことから、マルチタスクという厳しいトレーニング条件に適応するには、年齢やトレーニング設定などある程度の条件が必要なが示唆された。一方、投げのパフォーマンスは 3 群とも向上が認められなかった。

最後に、MOT 能力は年齢に関わらず有効性もあるが、トレーニングがパフォーマンスに結びつくには、ある程度の年齢が必要だということが示唆された。

【キーワード：新体操 ジュニア選手 認知機能トレーニング】

1. はじめに

競技スポーツのパフォーマンスにとって重要な因子は一言では語れない。しかし、心・技・体で表されるように、体（体力・体格）、技術、メンタルは誰もが認める不可欠な要因であろう。一般的には、心・技・体という順番で呼ばれるが、重きをおかれている順番でいえば、体（体力・体格）、技術、メンタルの順番になるのではないかと。まずは競技する体があり、そこに技術を獲得させる。

そして、体・技を十分活用するために心（理）が必要となるのである。もちろんどれが一番重要という議論は簡単ではないし、本稿の趣旨ではないのでこれ以上の議論はさける。

これらに加えて、最近になってスポーツにおいても認知機能が重要であるとの指摘が報告されるようになった^{1) 2) 3) 4) 5)}。その背景には、スポーツ現場で認知機能を評価し、トレーニングできるシステムの開発がある⁶⁾。このシステムは

NeuroTracker（以後ニューロトラッカーと日本語で表記する）という3次元空間上を移動する複数の物体を視覚により追跡し認識するというもので、3次元多物体追跡システム（3-Dimension Multiple Object Tracking: 3D-MOT：以後MOTと記す）と呼ばれる。

1. MOT研究の概要

MOT研究は、Pylyshyn, Z. W.とStorm, R. W. (1988) により始められた⁷⁾。彼らは、様々な要素が相互作用する動的環境において、集中を維持する個人の能力を測定するために知覚・認知能力の尺度として複数対象追跡（MOT）タスクを用いた。MOTは、被験者が同時に多くの移動物体を追跡する作業であり、被験者の能力は、正しく物体を追跡できるか否かという要素で評価される⁸⁾。これらの研究により、追跡すべき物体の数を増やせば、被験者の処理能力が下がる^{7) 9)}、動的で複雑な情報

※ こども学科 非常勤講師
** 日本体育大学
*** 帝京科学大学
**** スポーツパフォーマンスデザイン

の探究には分散注意という知覚・認識の作業が必要とされる³⁾ことなどが解明された。このことから、MOTトレーニングを行うことで空間認知能力、予測能力、集中力、注意力などを向上させることができるのではないかとということが示唆された。

2. 目的

新体操は、手具と呼ばれる道具〔ボール・ロープ（縄）・フープ（輪）・クラブ（こん棒）・リボン〕を使用して演技を行うスポーツである。新体操のルールでは、手具の投げ・受けを演技に必ず取り入れなければならない。その際、体の回転を伴ったり、視野から見えない場所で行ったりすると点数が上がる為、上位を目指すチームはより難しい技を取り入れた演技構成にする。しかし、手具を落下してしまうとEスコア（実施）で大きく減点されてしまう。またDスコア（難度）での点数も獲得できなくなる為、落下ミスの有無で勝敗は左右されてしまう。以上のことから、新体操では手具の落下ミスによる減点をなくす為、手具との距離感を掴む空間認知、手具の回転を読む予測能力、さらには集中力、注意力を養うことが必要であると考へた。

そこで本研究では、技術練習とは独立してこれらの認知能力をトレーニングすることによって、クラブの投げ・受けパフォーマンスの成功率が向上するかを検討することとした。また、スキヤモンの発達曲線からの指摘のように、中学時期までは神経系の発達が著しく、スキルに関するトレーニングや練習をすることが有効といわれているので、ジュニア期の選手についての調査を行った。そして、この種のトレーニングが将来（シニア期）のパフォーマンス向上につながる期待もあった。

これまで述べてきた観点から本研究の目的を次の様に整理する。

- ①新体操ジュニア選手の競技力をMOTから評価する
 - MOT能力と関係のある体力、技術に関する項目はどれか
- ②MOTトレーニングはジュニア選手にも有効か
 - ・トレーニングによってMOT能力が上がるか
 - ・年齢とMOTとは関係があるか

- ③MOTトレーニングは新体操のパフォーマンス（投げ・受け）を向上させられるか

MOTがスポーツパフォーマンスを向上させるという研究は、2016年1月に世界で初めて報告された⁴⁾。それはサッカーについてであったので、本研究は採点競技というカテゴリーでは初めての研究といえるだろう。また、本研究の構想は2015年秋であったので、研究開始当時はかなり独創的であったといえる。

- ④スポーツ界においてMOTトレーニングは救世主となりうるか

II. 方法

1. 対象・群

T新体操クラブに通う選手24名（小学生～高校生）を対象とした。本研究では対象者をトレーニング群2つ、コントロール群1つの3つの群に分けた。本研究では、追跡ターゲットが4個で8秒間追いかける条件の群（以後MOT群）と、追跡ターゲットが1個で8秒間追いかける条件の群（以後SV群）の2条件を設定した。また、別にコントロール群（以後C群）を設けた。8秒間という時間は、ニューロトラッカーの設定では最も長い時間であるが、スポーツ選手におけるトレーニングとしてスタンダードな時間となっているため採用した。次に、追跡ターゲットが4つという条件は、本研究の目的のMOTトレーニングという観点からの設定である。しかし、あえて追跡ターゲットが1個という条件を取り入れたのは、新体操における1つの手具を見て・取るという行為を想定したものである。群分けは、選手クラスの中で、年齢、身長、体重、競技歴、選手歴、ニューロトラッカー初期値（後述）ができるだけ平均となるように行った（表1）。競技歴は新体操を始めた歳から、選手歴は選手クラスに上がった歳からの年数である。群分けにおいて競技成績は考慮しなかった。というのは、団体競技では全国レベルでも、個人競技では地区大会を突破できない選手がいる一方、団体・個人共に全国レベルの選手が混在していることに加え、年齢の低い選手は試合経験も殆どないため、競技成績のレベルを適切に評価できないと考へたからである。

表1 各群の被験者のプロフィール（平均値と標準偏差）

	MOT群（8名）		SV群（9名）		C群（7名）	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
年齢	12.0	3.3	10.7	3.2	11.5	3.4
身長	144.1	14.3	142.9	15.0	139.6	13.4
体重	37.9	12.0	35.5	10.4	35.2	10.2
競技歴	6.3	3.8	4.6	3.0	6.2	4.1
選手歴	4.2	3.2	3.1	2.8	4.2	3.9
NT初期値	1.2	0.4	1.1	0.6	1.2	0.4

2. トレーニング内容

本研究では、3D-MOTトレーニングを、3次元多物体追跡システム：ニューロトラッカー（Cogni Sense社製, Canada）という機器で行った。ニューロトラッカーは、3次元空間内をランダム（方向と速度）に動く物体を認識することで、MOTトレーニングを行うシステムである。物体の数は全部で8個であり、そのうちのいくつかは追跡ターゲットとなる。追跡ターゲットは、ランダムに動いている間認識を求められる物体であり、被検者は物体が動き出してから停止するまで、その物体を見逃さずに追い続けなければならない。

3. 本研究におけるニューロトラッカーの実験条件

トレーニング頻度は、1セッション（1回8秒×20回の多物体追跡課題）を基本単位とし、1日3セッション、週2回、トータル21セッションで計画した。

4. 認知能力の評価項目

1) ニューロトラッカーの初期値

トレーニング開始前のMOT能力を測定した。これをニューロトラッカーの初期値と呼ぶ。初期値は2セッションの限界速度の平均とした。

2) ニューロトラッカーの終末値

トレーニング終了後にMOT能力の測定を行った。これをニューロトラッカーの終末値と呼ぶ。終末値は初期値同様、最後の2セッションの平均とした。

3) ニューロトラッカーのトレーニング効果

初期値に対する終末値の向上率を算出し、これをニューロトラッカーの向上率と呼ぶ。

ニューロトラッカーの向上率＝終末値／初期値

5. クラブの投げ・受けパフォーマンステスト

MOTトレーニング前後でクラブの投げテストお

よび受けテストを行い、成功率を調査した。クラブは長さ400～500mm、重さ150g程度（150g以上）のプラスチック、木、又はゴム製の棒状であり、2本1組とする新体操の手具の一つである。投げテストは、直径1mの円に6m離れたところから背中を向けて投げ、円に入る確率をテストした。受けテストは、小学生と中学生以上で技術レベルに差があるため難易度を変えて実施した。小学生は、6m離れたところから投げられたクラブを受けられる確率をテストした。中学生以上は難易度を上げる為、10m離れたところからフープ（輪）とクラブを組み合わせて速い回転のクラブを投げてもらい、受けられる確率をテストした。

1) 投げ・受けパフォーマンスのトレーニング効果（向上指数の説明）

投げ・受けともに、ニューロトラッカートレーニング前のテストの成功率とニューロトラッカートレーニング後のテストの成功率との差をもって向上指数と呼び、投げ・受けパフォーマンスのトレーニング効果とした。

2) 投げ・受けの向上指数

投げ・受けの向上指数＝ニューロトラッカートレーニング後のテストの成功率－トレーニング前のテストの成功率

6. その他の測定項目

ニューロトラッカーの値が新体操能力とどのように関係しているかを調べるために、以下の測定を実施した。

ストループテスト、体力項目（握力・上体起こし・反復横跳び）、肩関節・股関節可動域、ジャンプ能力（跳躍高、RJindex10）をドロップジャンプ・片足ジャンプ・開脚ジャンプで計る）であり、これらのテストは、MOTトレーニング実施の前のみで測定された。

Ⅲ. 結果

ニューロトラッカー、投げ、受けの更新率および向上指数の結果を図1に示す。

1. ニューロトラッカーの初期値，終末値，向上率

MOT群は初期値の平均は1.23，終末値平均は1.73であり，平均46%向上していた。一方，SV群は初期値平均1.10，終末値平均1.30となり，平均30%向上した。C群は初期値平均1.20，終末値平均1.39で，平均19%向上した。

2. 投げテストの初期値，終末値，向上指数

MOT群は初期値平均30.9%，終末値は平均34.1%であり，平均11%向上した。SV群は初期値

平均29.3%，終末値平均34.6%であり，平均18%向上した。C群は初期値平均21%，終末値平均23.43%であり，平均12%向上した。

3. 受けテストの初期値，終末値，向上指数

MOT群は初期値平均33.3%，最終値平均39.4%であり，平均18%向上した。SV群は初期値平均30.7%，終末値平均47.2%であり，平均54%向上した。C群は初期値平均48.9%，終末値平均47.4%であり，平均で3%降下した。

4. その他の測定項目

その他の測定項目の結果については考察で示す。

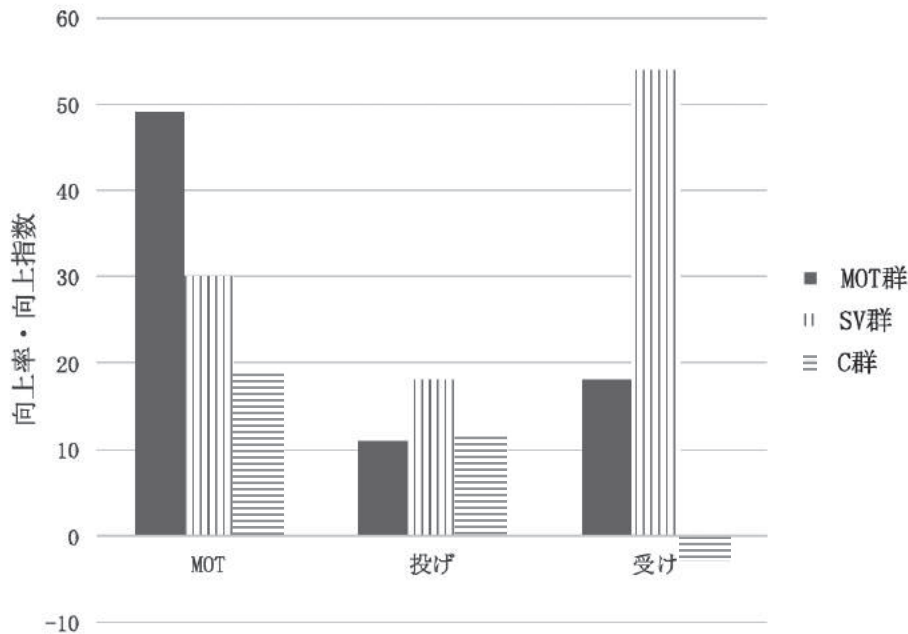


図1：3群間のMOT・投げ受けパフォーマンスの向上率の比較

Ⅳ. 考察

1. ニューロトラッカートレーニングが新体操のクラブの投げ・受けパフォーマンスの向上に及ぼす効果

ニューロトラッカーの向上率と投げパフォーマンスの向上指数とには，3群ともに相関が見られなかった。

受けの向上指数については，ニューロトラッカーの向上率とSV群，C群は相関関係が見られなかったが，MOT群は5%水準で有意な相関が認められた(図2)。MOTトレーニングは複雑な動きをする4つのターゲットを目で追い認識し，時には予測

を働かせるようなトレーニングであるので，高速な回転と落下点を読まなければならないクラブの受けには関係があったと考えられる。しかし，MOT群の受けの向上指数(18%)はSV群(54%)よりも平均値で見ると低い。このことは，MOTのトレーニングを活かしその向上を招いた選手が受けのトレーニング効果を得たことになる。本研究の被験者がジュニア世代ということもあり，MOTという厳しいトレーニング条件に適応できなかったものもいたのかもしれない。トレーニング条件の設定，トレーニング環境を含め今後のよい課題が得られたと考えている。

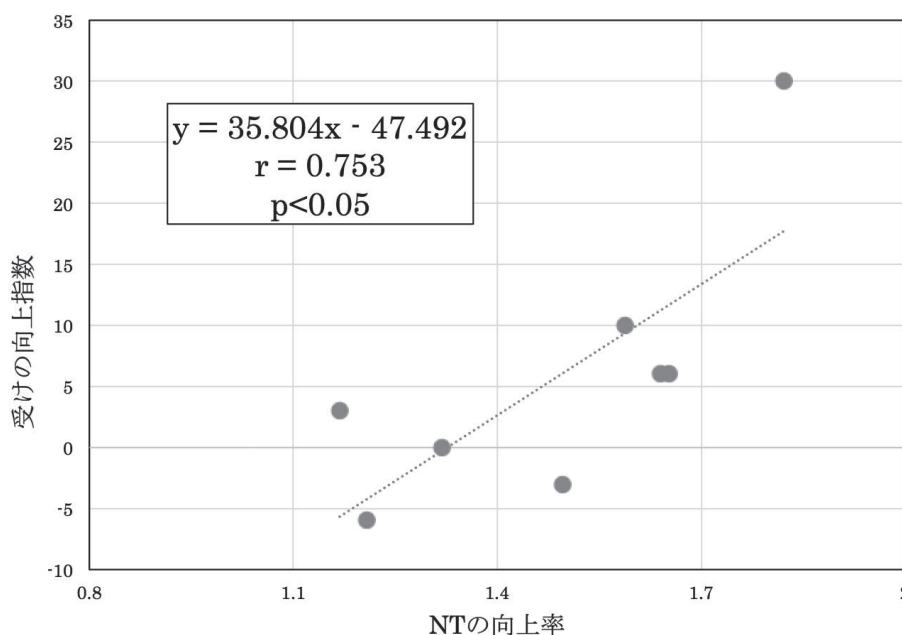


図2：8×4群のニューロトラッカーと受けの相関

2. ニューロトラッカーの向上率、投げ・受け向上指数の3群間の比較（図1）

ニューロトラッカーの向上率はMOT群が49%，SV群が30%，C群が19%と、トレーニングの特異性を表している。C群が向上したのは普段の練習の中でも認知能力が鍛えられているからだと考えられる。SV群もトレーニング内容は異なるが、SVトレーニングにおいても、マルチタスクを必要とするMOTスコアの向上にはある程度寄与することが示唆された。しかしそれは、シングルタスクあるいはスポーツビジョン的なSVトレーニングでは、マルチタスクのMOTの能力を十分に伸ばせないことを意味する。

投げパフォーマンスの向上率はMOT群が11%，SV群が18%，C群が12%と、どの群もほとんど伸びておらず、ニューロトラッカートレーニングは投げのパフォーマンスの向上には効果が薄いといえる。

受けパフォーマンスの向上率はMOT群が18%，SV群が54%，C群が-3%となった。ここでSV群が最も伸びていることは、SVの課題が高速で動く一つの物体を見る、いわばスポーツビジョン的課題のためであると考察すると、興味深い結果といえる。

3. 3D-MOT（ニューロトラッカー）で評価される認知機能の特性 —様々な因子との関係から—

ニューロトラッカーは、3次元の多物体追跡（3D-MOT）というマルチタスク課題を課すシステムで、空間認知、予測能力、注意力、集中力など、様々なシーンで必要な脳の機能を評価・トレーニングするシステムである。応用分野としては、スポーツパフォーマンスの向上、高齢者の認知機能の改善、ヘルスプロモーション、ビジネス能力アップ、さらにはADHD対策、パーキンソン病への応用、脳震盪の診断など幅広い。本研究では、その中のスポーツパフォーマンスへの転移効果を調べることを目的とした。

そこで、ニューロトラッカーの配信元であるCogniSense社が提供している効果に加えて、独自の解釈と検証を行うため、NT初期値といくつかの身体機能との関係を調べた。測定項目は、主に新体操の能力に関わりのあるものを選んだ。

まず、ニューロトラッカー初期値は、ストループテスト ($r=0.519$ $P<0.02$)、ドロップジャンプにおける跳躍高 ($r=0.527$ $p<0.01$) とRJindex ($r=0.482$ $p<0.02$) とに相関関係が認められた。図3にはニューロトラッカー初期値とRJindexとの関係を示す。

文字の意味と文字の色の2つの情報が同時に提示されるとき、それぞれの情報が干渉しあう現象をストループ効果という。ストループテストの情報処理は、MOTの情報処理課程と似ているため、ニューロトラッカーのスコアが高い被験者ほどストループテストの秒数も速かったと考えられる。

次に、ドロップジャンプにおける跳躍高とRJindexとに相関が認められたのは、これらの値が単にパワーだけの問題ではなく、むしろ落下により得られた位置エネルギーを弾性エネルギーとし

て効果的に筋腱複合体に蓄え、それを効率よく再利用させるという身体を上手くコントロールできるかどうかを表す値であるため¹⁰⁾、ニューロトラッカーのスコアと相関したのではないかと考えられる。その他のジャンプに関する項目にはニューロトラッカーとの有意な関係は見いだせなかった。いいかえれば、自分の体が今どのような状態になっているか、どのように動いているかを把握できているかがニューロトラッカーによって評価できるといえる。

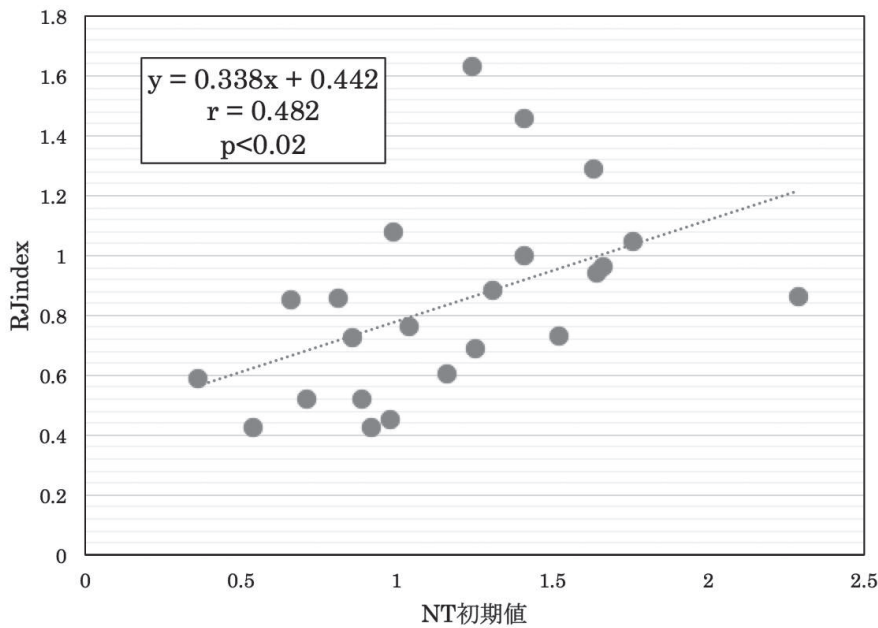


図3：ニューロトラッカー初期値とRJindexの相関

4. ニューロトラッカーの特性を年齢、ストループテスト、クラブの投げ・受けパフォーマンスとの関係をクロスオーバー的に分析する
表2にはこれらの関係の相関における有意水準P値を示した。

ストループテストとニューロトラッカーとは同系統の能力を表す指標であるため、相関関係がみられたのだと考える。また、投げと受けとに相関が認められたのは、これらの動作は技術的にある程度関連のあるものと考えられるだろう。今後、技術の質や指導法を研究していく上での一つの知見となるだろう。

一方で、ストループテストは動きのないターゲットから2つの情報を読み取り、ニューロトラッカーは動いている8つのターゲットから4つ追いか

なければならない、情報処理の複雑さで比べると、ストループテストの方が単純課題である。また、投げは自分が操作できる状態から始まる動作であるため、どのように動けばいいか考えてできる動作だが、受けの場合は自分とは離れた状態から始まり、その物体の状態を判断して動かなければ成立しない動作であるため、受けの方が複雑な課題であると言える。

以上のことを踏まえ、年齢とストループテスト、年齢と投げパフォーマンス、ストループテストと投げパフォーマンスで高い相関関係が見られたことを考えると、単純課題の方が年齢との相関が大きいことが示唆される。そして、投げよりも複雑な受けパフォーマンスは、単純課題のストループテストと相関がなく、同じようにストループテ

トよりも複雑なニューロトラッカーは、年齢と相関がなかったのだと考えられる。そして、ニューロトラッカーはより複雑なため、受けや投げとは相関が見られなかったのだと考える。

また、上記で述べたことから考えると、受けは投げに比べ複雑だが、年齢と受けパフォーマンスは

相関関係があったのは、単純に競技歴が長いからだと考えられる。以上総合したときに、ニューロトラッカーはマルチタスクととらえられ、認知トレーニングとしての特徴を備えたものと判断されるであろう。

表2：年齢，ストループテスト，NT初期値，投げ・受けパフォーマンスの関係（P値）

p 値	年齢	ストループ	NT 初期 値	受け	投げ
年 齢	—	0.001	0.389	0.014	0.000
ス ト ル ー プ		—	0.011	0.084	0.007
NT 初 期 値			—	0.403	0.893
受 け				—	0.033

V. 結論

本研究では、技術練習とは独立して空間認知能力や予測能力やトレーニングすることによって、新体操のクラブの投げ・受けパフォーマンスの成功率が向上するかを検討した。また、神経発達が顕著である発育期の子ども（小学生，中学生）にこのトレーニングが有効かどうかを検討した。ここでは本研究の4つの目的に対する結果と、そこから導き出される結論を記す。

1. 新体操ジュニア選手の競技力をMOTから評価する

ニューロトラッカーの初期値と相関のある体力測定項目は、ドロップジャンプにおける跳躍高とRJindexであった。このことから、ニューロトラッカーの値は、身体を上手くコントロールできるかどうかを表す値であり、自分の体が今この様に動いているかを把握できているかをニューロトラッカーによって評価できるといえる。逆に言えば、このトレーニングによってジャンプの跳び方や、体の使い方といった能力を鍛えることが可能であると考えられる。

2. MOTトレーニングはジュニア選手にも有効か

1) トレーニングによってMOT能力が上がるか検証したところ、ニューロトラッカーの向上率はMOT群が最も高く、トレーニングの特異性を表していた。C群でもわずかに向上したのは普通の練習の中でも認知能力が鍛えられているからだと考えられる。SVトレーニングの向上率はMOT群よりもC群に近かったということは、SVトレーニン

グはシングルタスクあるいはスポーツビジョン的なトレーニングであると結論づけられた。

2) 年齢とMOTとには関係があるか検証したところ、MOT能力は3群間での向上率の差はあるが、年齢による差はほとんどみられなかった。

また、受けパフォーマンスの向上指数から今回の3条件を検討すると、SVトレーニングは年齢にかかわらず有効であることが示唆された。これは、シングルタスク的、スポーツビジョン的トレーニングの特徴であるかもしれない。しかし、MOT群は高学年者の方が向上しており、MOTのトレーニングが受けパフォーマンスの向上に転移するには、ある程度の年齢が必要であると結論した。

3. MOTトレーニングは新体操のパフォーマンス（投げ・受け）を向上させられるか

投げパフォーマンスは全群に相関が見られなかったが、MOT群のニューロトラッカートレーニングの向上率と受けの向上指数に有意な相関関係が認められた。このことから、MOTトレーニングはクラブの受けパフォーマンスに有効であることが示唆された。しかし、受けパフォーマンスの向上指数が一番伸びたのはSV群であった。

以上のことから考えると、MOT群のマルチタスクトレーニングと、SV群のスポーツビジョン的トレーニングを掛け合わせてトレーニングすることで新体操のパフォーマンスを効果的に向上させられるのではないかと考える。

4. スポーツ界においてMOTトレーニングは救世主となりうるか

MOTトレーニングがMOT能力を伸ばすという研究は数多く報告されているが、MOTトレーニングがパフォーマンスの向上そのものに転移するという研究は一つしかない。本研究は二つ目の研究であり、採点競技については初めての研究となった。

以上のことから、新体操のパフォーマンスのみならず、スポーツ界にとってMOTが有効なトレーニングということを示せたのではないかと考える。世界は今、体力、技術、メンタルの各トレーニング方法の差がなくなっている。そこで、本研究で行った認知機能のトレーニングは、これからのスポーツパフォーマンス向上の違いを生む可能性がある。いいかえればMOTトレーニングはスポーツの発展に寄与することが期待できる。世界に追いつき、あるいは追い越し、東京オリンピックへの救世主となりうるかを今後も検証していきたい。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、実験から論文作成まで多大なるご指導をくださったスポーツパフォーマンスデザインの天野勝弘先生、統計処理にご協力いただいた和歌山大学の藤永博先生、には厚く御礼申し上げます。

また、本研究を進めるにあたり、研究対象者として協力してくださったT新体操クラブの選手の皆さん、そして、実験の趣旨にご理解とご協力をいただいた先生方、ご父兄の方々に心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Faubert, J. and Sidebottom, L. Perceptual-cognitive training of athletes. 2012, J Clin Sport Psychol, 6: 85.
- 2) Faubert, J. Professional athletes have extraordinary skills for rapidly learning complex and neutral dynamic visual scenes. 2013, Scientific Reports, 3.
- 3) Mangine, GT et al. Visual tracking speed is related to basketball-specific measures of

performance in NBA players. 2014, J Strength Cond Res, 28 (9) : 2406-2414.

- 4) Romeas, T., Gulder, A. and Faubert, J. 3D-Multiple Object Tracking training task improves passing decision-making accuracy in soccer players. 2016, Psychology of Sport and Exercise, 22: 1-9.
- 5) Beyer, K. S. et al. Spatial Awareness is Related to Moderate Intensity Running during a Collegiate Rugby Match. 2016, Int J Exerc Sci, 9 (5) : 599-606.
- 6) CogniSens inc, Neuro Tracker, <https://neurotracker.net/>, 2016.3
- 7) Pylyshyn, Z. W. and Storm, R. W. Tracking multiple independent targets: evidence for a parallel tracking mechanism. 1988, Spat. Vis, 3: 179-197.
- 8) Pylyshyn, Z. W. The role of location indexes in spatial perception: A sketch of the FINST spatial-index model. 1989, Cognition, 32: 65-97.
- 9) Yantis, S. Multielement visual tracking: attention and perceptual organization. 1992, Cogn. Psychol, 24: 295-340.
- 10) 図子浩二, 高松薫 リバウンドドロップジャンプにおける着地動作の違いが踏切中のパワーに及ぼす影響 —膝関節角度に着目して—. 1996, 体力科学, 45: 209-218.