

【原著論文】

体操競技選手におけるイメージ想起中の脳活動の特徴

相川 聖¹⁾, 高井 秀明²⁾, 中瀬 卓也³⁾

¹⁾ 日本体育大学教育福祉系

²⁾ 日本体育大学体育スポーツ科学系

³⁾ 日本体育大学コーチング系

Characteristics of brain activity during mental imagery in gymnasts

AIKAWA Satoshi, TAKAI Hideaki and NAKASE Takuya

Abstract: This study clarified the characteristics of brain activity during the recall of the performance based on the gymnast's ability to recall the goal imagery. The participants in this study were 22 gymnastic athletes. They were asked to answer a questionnaire, a subscale of the Japanese version of The Sport Imagery Ability Questionnaire (SIAQ), to measure goal imagery ability and recall the imagery of floor routines in the artistic gymnastics competition (Imagery tasks 1 and 2), which were the experimental tasks. In Imagery task 1, the participants were asked to imagine a floor routine in the performance configuration presented by the experimenter, and in Imagery task 2, they were asked to imagine a floor routine in the current performance configuration. The participants' brain activities during the experimental tasks were measured using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). The results showed that oxyhemoglobin (oxy-hb) in Ch increased to a greater extent in Imagery task 2 than in Imagery task 1 ($p < .05$, $p < .01$). In addition, the Δ oxy-hb of the gymnasts in the Imagery tasks 1 and 2 was higher for the high goal imagery group than for the low goal imagery group ($p < .05$). This study indicates that recall of the performance imagery of gymnasts may be related to the recall of the performance and the working memory. It is the characteristics of brain activity during imagery in gymnasts and provides useful information for imagery training.

要旨: 本研究の目的は、体操競技選手を対象として演技のイメージ想起中における脳活動の特徴と体操競技選手の目標イメージを想起する能力の違いによる演技のイメージ想起中の脳活動の特徴を明らかにすることとした。本研究の実験対象者は、体操競技選手22名であった。実験対象者は、イメージ能力を測定するために日本語版 The Sport Imagery Ability Questionnaire の下位尺度である目標イメージの項目に回答し、実験課題である体操競技におけるゆかの演技のイメージ (Imagery task ①および②) を実施した。Imagery task ①では実験者が提示した演技構成でのゆかの演技をイメージさせ、Imagery task ②では実験対象者が現在行っている演技構成でのゆかの演技をイメージさせた。また、実験課題中における実験対象者の脳活動は Functional near-infrared spectroscopy によって測定した。その結果、Imagery task ②は Imagery task ①よりも多くの Ch で酸素化ヘモグロビン (oxyhemoglobin; oxy-hb) が増加することが明らかとなった ($p < .05$, $p < .01$)。また、目標イメージ高群の Imagery task ①と Imagery task ②における Δ oxy-hb は、目標イメージ低群よりも高いことが明らかとなった ($p < .05$)。本研究の結果から、体操競技選手における演技のイメージ想起中には運動プログラムの呼び出しやワーキングメモリーが関連している可能性が示された。これは体操競技選手の脳活動の特徴であり、本研究によってイメージトレーニングにおける有益な知見を得ることができた。

(Received: March 24, 2022 Accepted: July 6, 2022)

Key words: Functional near-infrared spectroscopy, Imagery training, Artistic gymnastics

キーワード: 機能的近赤外分光分析法, イメージトレーニング, 体操競技

1. 緒 言

イメージは心理技法の一つとして多くのアスリートに活用されている。Hall et al. (1998) は、アスリートが利用するイメージの内容は、スポーツにおけるスキルや戦術、目標やそれを達成したときの行動、リラクセスや覚醒、困難な状況における自己コントロールであることを明らかにしている。また、Cumming and Hall (2000) では、ナショナルレベルのアスリートはレクリエーションレベルのアスリートよりも、スポーツのパフォーマンスの向上に対するイメージの関連性を高く評価していることが明らかにされている。したがって、競技レベルの高いアスリートは、イメージが自身のパフォーマンスの向上に寄与すると感じているといえる。加えて、ホール (2013) により、アスリートの競技レベルが高いほどイメージの利用頻度が多いことは最も首尾一貫した知見の1つになっていると述べられている。つまり、アスリートの高いパフォーマンスの発揮には、イメージの活用が関わっているものと考えられ、アスリートのイメージに関する研究は多くの領域で検討されている。その中で、アスリートのイメージ想起中における反応については生理指標を用いて検討している研究がある。大石ほか (1992) は、スピードスケート選手における滑走のイメージ想起中の皮膚電気活動や心拍数、呼吸数などの生理指標の変化を検討し、イメージ想起中には交感神経活動が亢進することを明らかにしている。他にも、Cumming et al. (2007) は、アスリートのイメージ想起中の心拍数を測定し、イメージ想起中の心拍数の増加から、アスリートは課題に対応したイメージを想起していることを明らかにしている。このように、生理指標を用いてアスリートのイメージ想起中の反応を捉えることで、どのようなイメージを想起しているのかについて客観的な視点から理解できるものと考えられる。小谷 (2017) は、イメージに関する研究は脳機能イメージングの技術の向上によって発展していると述べており、これまでの研究によってイメージ想起中の脳活動の特徴が明らかにされている。これまでは運動イメージの脳活動と運動実行時の脳活動を比較する研究が盛ん

に行われており、イメージと実際の運動における脳活動は類似することが示されている (Jeannerod, 2001; Zabicki et al., 2017)。イメージと脳活動には、「運動を実行する場合の脳活動と運動イメージした場合の脳活動は同じである」(小谷, 2017) という運動イメージの機能的等価仮説によって、その関係性が認められている。Debarnot et al. (2014) は、イメージトレーニングによる脳の機能的可塑性は、同様の運動スキルの身体的トレーニング後に観察される可塑性を非常に模倣すると述べており、イメージトレーニングの側面からも運動イメージの機能的等価仮説は支持されている。さらにHolmes and Collins (2001) は、運動イメージの機能的等価仮説に基づき、PETTLEPモデルを提唱している。PETTLEPモデルでは、運動イメージの機能的等価性や運動イメージの構築に関する要因から、運動イメージを想起する際に考慮すべき7つの要素について示している(表1)。近年では、このPETTLEPモデルを取り入れたイメージトレーニングの効果検証が行われている(Ramsey et al., 2010; Simonsmeier et al., 2018; Smith et al., 2007; Smith et al., 2008)。したがって、運動イメージの機能的等価仮説は、イメージの研究と実践の両側面の基盤になる理論といえる。

これまでのイメージと脳活動の関係性を明らかにする研究は、運動実行時とイメージ想起時の脳活動の比較検討が盛んに行われており、比較的単純な運動を想起する運動イメージを対象とした研究が行われている(Hanakawa et al., 2003; Lacourse et al., 2005; Hanakawa et al., 2008)。したがって、スポーツにおける具体的なパフォーマンスのイメージを対象に検討した研究は少ない。この点について研究することにより、スポーツ現場でのイメージトレーニングの実践および指導に有益な知見を与えることができるものと考えられる。

イメージ想起時の脳活動を測定する方法として機能的近赤外分光法 (functional near infrared spectroscopy: fNIRS) がある。fNIRSは生体透過性の高い近赤外光を用いて、生体内のヘモグロビン酸素代謝変化を非侵襲的に計測できる(酒谷, 2012)。イメージ想起時の脳活動に関する研究では、主に機能的磁気共鳴画像法

表1 PETTLEPモデルの内容(小谷, 2017より改変)

PETTLEPの要素	内容
Physical	イメージ想起中の身体の状態と実際の運動時の身体の状態を可能な限り類似した状態にする。
Environment	イメージする場所(環境)は実際に運動を実行する場所と同じであることが効果的である。
Task	実際の運動とイメージの内容が同一のものであるべきであり、その内容はスキルレベルに適した課題であることが効果的である。
Timing	実際の運動とイメージによる運動の時間が一致するようにトレーニングすることが運動イメージを効果的なものにする。
Learning	学習の段階によってイメージする内容を変化させる。
Emotion	運動イメージにおいても情動に関する教示を与えることがより効果が高い。
Perspective	イメージを想起するときの視点(内的・外的)を考慮する。

(functional magnetic resonance imaging: fMRI) が利用されてきたが、fNIRSはfMRIよりも拘束性が低く被験者の体位に制限されず日常生活に近い状態や軽運動下で脳機能が測定できること、機器が比較的安価であり省スペースであることなどが利点として挙げられていることから(高倉, 2015)、fNIRSを用いた研究は今後のさらなる発展が期待されている。

これまでに体操競技における身体的・心理的要求に対処するうえで、イメージが有効であることが示されている(Calmels et al., 2003; Post and Wrisberg, 2012)。また、Simonsmeier and Buecker (2017) や Aikawa and Takai (2021) は体操競技選手のイメージとパフォーマンスとの関係性を検討し、イメージを想起する能力が体操競技のパフォーマンスに影響を与えることを明らかにしている。体操競技は事前に遂行するパフォーマンス(演技)が決まっているため、演技の成功をイメージできることは、高いパフォーマンスの遂行につながるものと考えられる(Aikawa and Takai, 2021)。したがって、イメージは体操競技のパフォーマンス向上に有効に作用していることが理解できる。しかしながら、体操競技選手のイメージによるパフォーマンスへの作用については、未だその機序が明確ではなく、多角的な視点から検討する必要がある。体操競技選手が演技のイメージを想起している時の脳活動を捉えることで、イメージがパフォーマンスに対してどのように作用しているのかを示すことができるものと考えられる。よって、体操競技選手が演技のイメージを想起している時の脳活動の特徴を明らかにできれば、イメージがパフォーマンスに作用する機序を明示することができ、イメージトレーニングの科学的根拠を示すことにつながるものと考えられる。

体操競技の演技は、選手自身が実施可能な技を組み合わせ合わせて構成されるため、選手によって異なった内容となる。体操競技選手は自分自身の演技構成を練習の中で繰り返しイメージしているものと考えられ、そのイメージ想起中には、体操競技選手のイメージ想起中における脳活動として特徴が現れる可能性がある。また、これまでに標的刺激に反応する課題(Helton et al., 2010) やしりとり課題(近藤ほか, 2012)を用いた研究では、課題の難易度の違いによって脳活動が異なることが明らかにされている。したがって、比較的簡単な演技構成のイメージ想起時の脳活動と自分自身の演技構成のイメージ想起時の脳活動は異なることが予想され、その2つのイメージ想起時の脳活動を比較することで、実際のイメージトレーニング実施時における脳活動の特徴を明らかにできるものと考えられる。

イメージを想起する際の個人差に挙げられる要因としてイメージ能力がある。イメージ能力とは、鮮明性や

容易さなどイメージを形成、維持、変換する個人の能力を反映するものであると説明されている(Williams and Cumming, 2011)。先行研究によって、体操競技における高いパフォーマンスの遂行に関連するイメージ能力は、イメージ能力の中でも、目標イメージを想起する能力であることが示されている(Aikawa and Takai, 2021; Simonsmeier and Buecker, 2017)。また、Debarnot et al. (2014) は、イメージ能力の違いによって脳活動は異なる可能性について言及していることから、体操競技選手の目標イメージを想起する能力の違いは脳活動に影響を与えるものと考えられる。イメージ能力の違いによるイメージ想起中の脳活動の特徴を明らかにすることで、客観的なイメージ能力の評価につながる知見を得ることができるだろう。

以上のことから、本研究の目的は体操競技選手を対象として演技のイメージ想起中における脳活動の特徴と体操競技選手の目標イメージを想起する能力の違いによる演技のイメージ想起中の脳活動の特徴を明らかにすることとした。

2. 方 法

実験対象者

実験対象者は、A大学体操競技部に所属する体操競技選手22名(平均年齢 18 ± 0.9 歳、男性)であった。

実験環境

本実験はA大学のシールドルームにて実施された。シールドルーム内の気温は 25°C 、湿度は50%になるように設定した。

測定指標

心理指標 実験対象者の目標イメージを想起する能力を測定するため、日本語版The Sport Imagery Ability Questionnaire(日本語版SIAQ; 相川ほか, 2019)の下位尺度である目標イメージの質問項目に回答させた。回答方法は、各項目のイメージの容易さを“とても難しい…1”から“とてもやさしい…7”で回答する7件法であった。

なお、本研究では、目標イメージを想起する能力による脳活動の違いを明確にするため、目標イメージの得点が平均値+0.5以上の実験対象者を目標イメージ高群(5名)、平均値+0.5以下の実験対象者を目標イメージ低群(8名)とした。

生理指標 実験対象者のイメージ想起中の脳活動を捉えるため、fNIRS(OEG-SpO₂, スペクトラテック社製)によって、全16Chで前頭前野の脳活動を測定した。fNIRSの装着は、国際10-20法(Okamoto et al., 2004)に基づき、測定プローブの中心をFpzに位置させた。測定範囲は、Fp1, Fpz, F7, F3とF4よりやや低い領域であった(図1)。なお、本研究では、酸素化

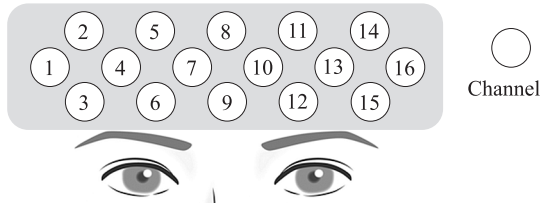


図1 fNIRSの測定範囲

ヘモグロビン (oxy-hb) を前頭前野における脳活動の指標として採用した。fNIRSのデータは、データをTask区間ごとに抽出し、TaskのPre (5 sec) とRecovery (10 sec) 後のPost (5 sec) 区間のデータから最小二乗法を用いて近似直線を求めたものをベースラインとして、Task区間における各Chのoxy-hbを算出した。

実験課題

本研究では、実験対象者に実験課題として体操競技におけるゆかの演技のイメージ (Imagery task ①および②) を想起させた。Imagery task ①では研究実施者が提示した演技構成でのゆかの演技をイメージさせ、Imagery task ②では実験対象者が現在行っている演技構成でのゆかの演技をイメージさせた。なお、Imagery task ①は、A大学体操競技部の指導者3名に確認し、A大学男子体操競技部員が遂行可能と判断されている。また、本研究では、近藤ほか (2016) にならない、実験対象者にはBaseline taskとして基本図形 (○・△・□) のイメージを想起させた。

また、本研究では、PETTLEPモデル (Holmes and Collins, 2001) を参考にし、実験対象者がImagery task ①および②を実施する際には表2の内容を踏まえるように指示した。

表2 実験課題 (Imagery task ①および②) における指示

指示内容 (PETTLEPの要素)	
A大学の体育館で演技をしているイメージをしてください。	(Environment)
イメージの時間が実際の演技と同じになるようにしてください	(Timing)
演技を成功させたときの感情もイメージしてください。	(Emotion)
自分自身が演技している視点で演技をイメージしてください	(Perspective)

実験の手続き

本実験の手続きを図2に示す。まず、実験対象者に実験の概要について説明し、実験室入室後、日本語版SIAQに回答させ、fNIRSを装着した。その後、Rest (30 sec), Baseline task (30 sec), Rest (30 sec), Imagery task ①または②を1セットとし、3回繰り返した。Imagery task ①の実施前には、課題を暗記する時間を設けた。なお、Imagery task ①または②はカウンターバランスを用いて実施した。最後に、Imagery task ①および②実施時に表2の内容を踏まえていたかを確認した。

分析方法

Baseline taskとImagery task ①および②における各Chのoxy-hbを比較するため、独立変数をtaskの種類 (Baseline task, Imagery task ①および②)、従属変数をoxy-hbとする対応のあるt検定を行った。次に、目標イメージ高群と目標イメージ低群の Δ oxy-hb (Imagery task ①および②のoxy-hb-Baseline taskのoxy-hb) を比較するため、独立変数を目標イメージの高さ (目標イメージ高群, 目標イメージ低群)、従属変数を Δ oxy-hbとするMann-WhitneyのU検定を行った。統計処理には、IBM SPSS Statistics 27.0を使用し、有意水準は5%とした。

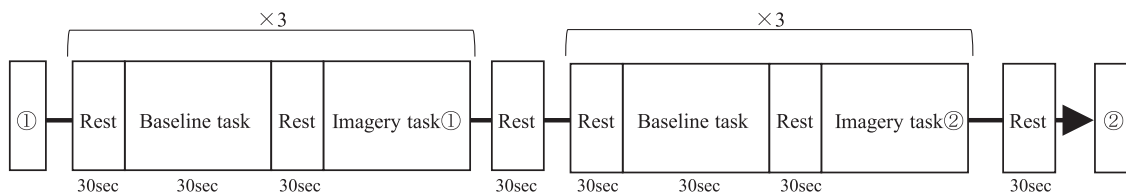
倫理的配慮

本研究は、日本体育大学倫理審査委員会の承認 (承認番号: 第020-H107号) を得て行った。実験対象者には研究の趣旨を把握できるよう研究の概要、目的、そして個人情報保護に関する内容を口頭と文章で説明した。そして、同意書への記入をもって本研究への参加を確認した。

3. 結 果

Baseline taskとImagery task ①および②における各Chのoxy-hbの比較

Baseline taskとImagery task ①および②における各Chのoxy-hbを比較した (表3, 表4)。その結果、Imagery task ①におけるCh3とCh12 ($p<.05$) およびCh1やCh15, Ch16 ($p<.01$) のoxy-hbはBaseline task



- ①・・・fNIRSの装着, 日本語版SIAQ (目標イメージ) に回答
- ②・・・表2の内容を踏まえていたかを確認

※ 実験参加者は座位にて、全ての手続きを行なった。

図2 実験の手続き (Imagery task ①が先の場合)

表3 Baseline taskとImagery task①における各Chのoxy-hbの比較

	Baseline task	Imagery task①	t値 df=21
	M (SD)	M (SD)	
Ch1	0.013 (0.070)	0.094 (0.114)	2.98**
Ch2	0.033 (0.055)	0.074 (0.103)	1.57
Ch3	0.002 (0.074)	0.049 (0.108)	2.12*
Ch4	0.044 (0.076)	0.084 (0.124)	1.57
Ch5	0.033 (0.075)	0.029 (0.116)	0.12
Ch6	0.011 (0.090)	0.056 (0.162)	1.72
Ch7	0.040 (0.091)	0.050 (0.118)	0.33
Ch8	-0.012 (0.059)	0.016 (0.132)	0.94
Ch9	0.017 (0.074)	0.031 (0.124)	0.56
Ch10	0.040 (0.085)	0.043 (0.124)	0.12
Ch11	0.034 (0.075)	0.047 (0.128)	0.45
Ch12	0.013 (0.079)	0.073 (0.136)	2.15*
Ch13	0.058 (0.088)	0.109 (0.168)	1.72
Ch14	0.048 (0.079)	0.092 (0.143)	1.43
Ch15	0.003 (0.081)	0.069 (0.099)	3.37**
Ch16	0.024 (0.072)	0.103 (0.120)	3.02**

* $p < .05$, ** $p < .01$

表4 Baseline taskとImagery task②における各Chのoxy-hbの比較

	Baseline task	Imagery task②	t値 df=21
	M (SD)	M (SD)	
Ch1	0.027 (0.086)	0.111 (0.136)	2.81*
Ch2	0.047 (0.065)	0.095 (0.144)	1.78
Ch3	0.009 (0.074)	0.057 (0.076)	2.57*
Ch4	0.051 (0.073)	0.111 (0.112)	2.78*
Ch5	0.040 (0.071)	0.036 (0.117)	0.19
Ch6	0.004 (0.088)	0.047 (0.106)	2.46*
Ch7	0.028 (0.071)	0.057 (0.116)	1.41
Ch8	0.004 (0.073)	0.000 (0.107)	0.22
Ch9	-0.006 (0.076)	-0.004 (0.123)	0.09
Ch10	0.035 (0.086)	0.052 (0.141)	0.68
Ch11	0.040 (0.092)	0.066 (0.148)	0.96
Ch12	0.003 (0.073)	0.063 (0.117)	2.64*
Ch13	0.050 (0.091)	0.137 (0.151)	3.03**
Ch14	0.048 (0.084)	0.099 (0.167)	1.74
Ch15	0.006 (0.093)	0.071 (0.123)	3.17**
Ch16	0.028 (0.102)	0.108 (0.122)	3.24**

* $p < .05$, ** $p < .01$

表5 両群におけるImagery task①の Δ oxy-hbの比較

	目標イメージ高群	目標イメージ低群	U値
	(n=5)	(n=8)	
	M (SD)	M (SD)	
Ch1	0.176 (0.190)	0.040 (0.097)	10
Ch2	0.124 (0.133)	0.017 (0.134)	12
Ch3	0.080 (0.134)	0.032 (0.129)	18
Ch4	0.061 (0.104)	0.028 (0.169)	19
Ch5	0.103 (0.136)	-0.038 (0.167)	10
Ch6	0.019 (0.122)	0.077 (0.164)	17
Ch7	0.084 (0.165)	-0.016 (0.172)	15
Ch8	0.166 (0.179)	0.001 (0.110)	9
Ch9	0.005 (0.119)	0.024 (0.151)	20
Ch10	0.063 (0.131)	-0.024 (0.153)	13
Ch11	0.146 (0.132)	-0.046 (0.133)	6*
Ch12	0.087 (0.137)	0.060 (0.156)	16
Ch13	0.092 (0.129)	0.033 (0.196)	15
Ch14	0.137 (0.126)	0.004 (0.163)	9
Ch15	0.099 (0.129)	0.043 (0.085)	13
Ch16	0.143 (0.161)	0.026 (0.106)	13

* $p < .05$

表6 両群におけるImagery task②の Δ oxy-hbの比較

	目標イメージ高群	目標イメージ低群	U値
	(n=5)	(n=8)	
	M (SD)	M (SD)	
Ch1	0.137 (0.070)	0.009 (0.096)	4*
Ch2	0.144 (0.087)	0.014 (0.090)	6*
Ch3	0.042 (0.048)	0.012 (0.068)	13
Ch4	0.086 (0.056)	0.043 (0.079)	13
Ch5	0.069 (0.041)	-0.024 (0.091)	8
Ch6	0.037 (0.057)	0.027 (0.074)	19
Ch7	0.078 (0.083)	0.022 (0.079)	12
Ch8	0.071 (0.084)	-0.021 (0.067)	7
Ch9	0.000 (0.045)	0.024 (0.074)	16
Ch10	0.069 (0.110)	0.021 (0.094)	17
Ch11	0.115 (0.087)	-0.001 (0.118)	7
Ch12	0.067 (0.068)	0.071 (0.096)	19
Ch13	0.115 (0.076)	0.063 (0.151)	15
Ch14	0.105 (0.067)	0.024 (0.133)	13
Ch15	0.095 (0.044)	0.038 (0.082)	15
Ch16	0.136 (0.068)	0.027 (0.088)	6*

* $p < .05$

のoxy-hbより有意に高かった。また、Imagery task②におけるCh1やCh3, Ch4, Ch6, Ch12 ($p < .05$) およびCh13やCh15, Ch16 ($p < .01$) のoxy-hbはBaseline taskのoxy-hbより有意に高かった。

目標イメージ高群と目標イメージ低群の Δ oxy-hbの比較

目標イメージ高群と目標イメージ低群の Δ oxy-hbを比較した(表5, 表6)。その結果、Imagery task①では目標イメージ高群のCh11における Δ oxy-hbは目標イメージ低群の Δ oxy-hbより有意に高かった($p < .05$)。Imagery task②では目標イメージ高群のCh1やCh2, Ch16における Δ oxy-hbは目標イメージ低群の Δ oxy-hbより有意に高かった($p < .05$)。

4. 考 察

本研究の目的は、体操競技選手を対象として演技のイメージ想起中における脳活動の特徴と体操競技選手の目標イメージを想起する能力の違いによる演技のイメージ想起中の脳活動の特徴を明らかにすることであった。

まず、Baseline taskとImagery task①および②における各Chのoxy-hbを比較した結果、Imagery task②はImagery task①よりも多くのChでoxy-hbが増加することが明らかとなった。本研究では、実験対象者にImagery task①として研究実施者が作成したゆかの演技構成での演技をイメージ、Imagery task②として自分が現在取り組んでいるゆかの演技構成での演技をイメージさせた。つまり、体操競技選手は自分が現在取り組んでいる演技構成のイメージでは、研究実施者が

作成したゆかの演技構成のイメージよりも、脳活動が高まることが明らかとなった。内藤ほか (2013) は、前頭-頭頂領域は適切な運動プログラムを記憶から呼び出し、準備するために機能すると述べている。したがって、体操競技選手は、自分の記憶と結びつきやすい現在練習しているゆかの演技構成をイメージする際には脳活動は高まりやすい可能性がある。また、Imagery task ①よりも Imagery task ②において脳活動が活性化したことには、課題の難易度が関連している可能性がある。Helton et al. (2010) は、標的刺激に反応する課題において、簡単な難易度の課題を実施している時には左側の前頭葉よりも右側の前頭葉が活性化し、難しい難易度の課題を実施している時には両側とも活性化することを報告している。本研究では Imagery task ①における右側優位性は認められなかったが、Imagery task ②では両側での脳活動の活性化が認められている。加えて、本間ほか (2021) は、問題解決課題における難易度の上昇に伴い、課題遂行中の oxy-hb 濃度変化量が増加したことを報告している。以上のことから、前頭前野の活動は、難易度の上昇に伴い、認知的負荷が高くなったことで活性化されるものと推察される。よって、Imagery task ②は Imagery task ①よりも難易度が高く、認知的負荷が高かったため、oxy-hb が増加したものと考えられる。

次に、目標イメージ高群と目標イメージ低群の Δ oxy-hb を比較した結果、目標イメージ高群の Imagery task ①と Imagery task ②における Δ oxy-hb は、目標イメージ低群よりも高いことが明らかとなった。また、Imagery task ②は Imagery task ①よりも多くの Ch で Δ oxy-hb の違いを示していた。Van Der Meulen et al. (2014) は、心的時間測定によるイメージ能力の違いにより、歩行イメージ想起中の脳活動が異なることを報告しており、イメージ能力が高い対象者は、歩行イメージ想起中に左前頭前野領域の活動が活性化することを明らかにしている。本研究の結果から、具体的なスポーツのパフォーマンスのイメージを対象とした本研究においても、運動イメージを対象とした Van Der Meulen et al. (2014) の研究と同様に、イメージ能力の違いによって前頭前野の脳活動は異なることを示している。目標イメージ高群におけるイメージ想起中の脳活動の高さは、自分自身の演技を想起する能力が高いことにより、目標イメージ低群よりも演技の細かい部分まで想起できていることが反映されているものと推察される。さらに、本研究の結果は、Debarnot et al. (2014) の言及を支持し、イメージ能力の違いによって脳活動は異なることが示された。よって、スポーツにおけるイメージトレーニングにおいても、脳の機能的可塑性が起こるものと考えられ

る。このことは、スポーツ現場で利用されるイメージトレーニングの新たな科学的根拠になり得るものと考えられる。

本研究の結果を概観すると、Imagery task ②では背外側前頭前野に位置する Ch (Goto et al., 2015) における脳活動の活性化が認められている。Zhang et al. (2019) は、競歩選手における歩行イメージ中の脳活動は一般大学生における歩行イメージ中の脳活動よりも活性化しており、その違いが背外側前頭前野にも現れることを報告している。つまり、アスリートのイメージ想起中には、背外側前頭前野の活性化を伴うものと考えられる。その背外側前頭前野はワーキングメモリーとの関連が認められている (荇阪, 2000)。ワーキングメモリーとは目標志向的な課題や作業の遂行に関わるアクティブな記憶であり (荇阪, 2000)、さらに、荇阪 (2000) は長期記憶から意識的、意図的に想起された情報がアクティブに保持されるとワーキングメモリーになるという考え方を示している。本研究で実施した Imagery task ②のような自分自身の記憶から運動プログラムをイメージする課題による背外側前頭前野の活性化には、ワーキングメモリーが関わっているものと考えられる。

本研究によって、体操競技選手の目標イメージを想起する能力は、ゆかの演技のイメージ想起中における脳活動に影響を与えることが明らかとなった。特に、目標イメージを想起する能力が高い体操競技選手はイメージ想起中における背外側前頭前野の活性化が認められた。これまでに Simonsmeier and Buecker (2017) や Aikawa and Takai (2021) によって体操競技選手における目標イメージの重要性が明らかにされている。また、相川ほか (2019) によって、目標イメージを想起する能力を高めるイメージトレーニングは体操競技選手のパフォーマンスや自信、イメージ能力を高めることが明らかにされている。本研究により目標イメージを想起する能力が高い体操競技選手は背外側前頭前野の活性化が認められたことから、目標イメージを想起する能力を高めるイメージトレーニングは適切な運動プログラムの呼び出しやワーキングメモリーの活用をもたらす可能性がある。以上のことから、体操競技選手はイメージトレーニングによって、適切な運動プログラムの呼び出しやワーキングメモリーの活用が行われることで、高いパフォーマンスの遂行を促進させる心理的準備が行われるものと考えられる。

最後に本研究の限界と展望を述べる。まず、本研究の限界として、実験対象者のイメージ能力の測定方法が挙げられる。Kraeutner et al. (2020) は、イメージ能力には様々な次元があることを明らかにしている。したがって、心的時間測定などのその他のイメージ能

力を規定する指標を用いながら脳活動の違いについて総合的に検討する必要があるだろう。また、本研究の実験対象者は体操競技選手のみであったため、本研究の結果は体操競技のみに限定されたものといえる。今後は他競技のアスリートでも検討を重ね、アスリート全般のイメージ能力とイメージ想起中の脳活動との関係性を明らかにしたい。

付 記

本研究の実験対象者のデータは、日本体育・スポーツ・健康学会第71回大会（相川ほか，2021a）や日本スポーツ心理学会第48回大会（相川ほか，2021b）において発表されたものである。

文 献

- Aikawa, Satoshi and Takai, Hideaki (2021) Relationship between imagery ability, performance, and variables related to performance. *The Sport Psychologist*, 35(2): 123–130.
- 相川 聖・高井秀明・平山浩輔（2019）日本語版 The Sport Imagery Ability Questionnaire の作成および信頼性と妥当性の検討. *体育学研究*, 64(1): 119–134.
- 相川 聖・高井秀明・中瀬卓也（2019）日本語版 SIAQ を用いたイメージトレーニングの効果検証. *日本スポーツ心理学会第46回大会 研究発表抄録集*: 24–25.
- 相川 聖・高井秀明・中瀬卓也（2021a）体操選手の演技のイメージ想起中における脳活動の特徴. *日本体育・スポーツ・健康学会第71回大会 予稿集*: <https://onl.tw/nh3hS3m>（参照日：12月21日）.
- 相川 聖・高井秀明・中瀬卓也（2021b）体操選手のイメージ能力とイメージ想起中の脳活動との関係. *日本スポーツ心理学会第48回大会 研究発表抄録集*: 80–81.
- Calmels, Claire, D'Arripe-Longueville, Fabienne, Fournier, Jean, F and Soulard, Amélie (2003) Competitive strategies among elite female gymnasts: An exploration of the relative influence of psychological skills training and natural learning experiences. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1(4): 327–352.
- Cumming, Jennifer and Hall, Craig (2002) Deliberate imagery practice: the development of imagery skills in competitive athletes. *Journal of Sports Sciences*, 20(2): 137–145.
- Cumming, Jennifer, Olphin, Tom and Law, Michelle (2007) Self-reported psychological states and physiological responses to different types of motivational general imagery. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(5): 629–644.
- Debarnot, Ursula, Sperduti, Marco, Di Rienzo, Franck and Guillot, Aymeric (2014) Experts bodies, experts minds: How physical and mental training shape the brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. article 280.
- Goto, Takaaki, Kita, Yosuke, Suzuki, Kota, Koike, Toshihide and Inagaki, Masumi (2015) Lateralized frontal activity for Japanese phonological processing during child development. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. article 417.
- Hall, Craig R, Mack, Diane E, Paivio, Allan and Hausenblas, Heather A (1998) Imagery use by athletes: Development of the sport imagery questionnaire. *International Journal of Sport Psychology*, 29(1): 73–89.
- Hanakawa, Takashi, Dimyan, Michel A and Hallett, Mark (2008) Motor panning, imagery, and execution in the distributed motor network: A time- course study with functional MRI. *Cerebral Cortex*, 18: 2275–2788.
- Hanakawa, Takashi, Immisch, Ilka, Toma, Keiichiro, Dimyan, Michel A, Van Gelderen P and Hallett M (2003) Functional properties of brain areas associated with motor execution and imagery. *Journal of Neurophysiology* 89(2): 989–1002.
- Helton, Williams S, Warm, Joel S, Tripp, Lloyd D, Matthews, Gerald, Parasuraman, Raja and Hancock, Peter A (2010) Cerebral lateralization of vigilance: A function of task difficulty. *Neuropsychologia* 48(6): 1683–1688.
- Holmes, Paul and Collins, David (2001) The PETTLEP approach to motor imagery: A functional equivalence model for sport psychologists. *Journal of Applied Sport Psychology*, 13(1): 60–83.
- 本間美桃子・中野泰何・岡崎慎治（2021）定型発達成人における問題解決課題の遂行成績と前頭前部の脳血行動態からみた問題解決過程の検討. *臨床神経生理学*, 49(6): 459–468.
- Jeannerod, Marc (2001) Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 14(1): S103–S109.
- 近藤昭彦・森田喜一郎・石井洋平・江里口剛喜・内村直尚（2016）快・不快イメージ課題における頭部酸素化ヘモグロビン濃度の変動～健常者と統合失調症者の比較検討～. *臨床神経生理学*, 44(1): 1–10.
- 近藤昭彦・森田喜一郎・石井洋平・小路純央・藤木僚・山本 篤・浅海 靖・内村直尚（2012）しりとり課題におけるうつ病患者の酸素化ヘモグロビンの変動について. *久留米醫學會雑誌*, 75(1・2): 32–41.
- 小谷泰則（2017）運動イメージ. 堀忠雄・尾崎久記監, *生理心理学と精神心理学 第Ⅱ巻 応用*, 北大路書房：京都, pp. 307–315.
- Kraeutner, Sarah, Eppler, Sarah, Stratas, Alexandra and Boe, Shaun (2020) Generate, maintain, manipulate? Exploring the multidimensional nature of motor imagery. *Psychology of Sport and Exercise*, 48: 101673.
- Lacourse, Michael G, Orr, Elizabeth LR, Cramer, Steven C, and Cohen Micheal J (2005) Brain activation during execution and motor imagery of novel and skilled sequential hand movements. *Neuroimage* 27(3): 505–519.
- 内藤栄一・水口暢章・上原信太郎・雨宮 薫（2013）運動イメージにおける脳内機構—リハビリテーション

- への応用を目指して一. 脳科学とリハビリテーション, 13: 1-10.
- Okamoto, Masako, Dan, Haruka, Sakamoto, Kuniko, Takeo, Kazuhiro, Shimizu, Kouji, Kohno, Satoru, Oda, Ichiro, Isobe, Seiichiro, Suzuki, Tateo, Kohyama, Kaoru and Dan, Ippeita (2004) Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10 20 system oriented for transcranial functional brain mapping. *NeuroImage*, 21: 99-111.
- 大石和男・木村瑞生・安川通雄・前嶋 孝 (1992) イメージによる動作遂行中の生理的パラメータの変化. *体育学研究*, 36(4): 303-312.
- 荻坂満里子 (2000) ワーキングメモリとの言語理解の脳内機構. 荻坂直行編, 脳とワーキングメモリ. 京都大学学術出版会: 京都, pp. 157-180.
- Post, Phillip and Wrisberg, Craig (2012) A phenomenological investigation of gymnasts' lived experience of imagery. *The Sport Psychologist*, 26: 98-121.
- Ramsey, Richard, Cumming, Jennifer, Edwards, Martin, Williams, Sarah and Brunning, Chris (2010) Examining the emotion aspect of PETTLEP-based imagery with penalty taking in soccer. *Journal of Sport Behavior*, 33: 295-314.
- 酒谷 薫 (2012) NIRSの測定原理. 酒谷薫監, NIRS—基礎と臨床—, 新興医学出版社: 東京, pp. 3-5.
- ホール: 山崎勝男ほか訳 (2013) スポーツと運動でのイメージ. シンガー・ハウゼンプラス・ジャーナル編: 山崎勝男ほか訳, スポーツ心理学大事典. 西村書店: 東京, pp. 406-422.
- Simonsmeier, Bianca and Buecker, Susanne (2017) Interrelations of imagery use, imagery ability, and performance in young athletes. *Journal of Applied Sport Psychology*, 29(1): 32-43.
- Simonsmeier, Bianca, Frank, Cornelia, Gubelmann, Hanspeter and Schneider, Michae (2018) The effects of motor imagery training on performance and mental representation of 7- to 15-year-old gymnasts of different levels of expertise. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 7(2): 155-168.
- Smith, Dave, Wright, Caroline, Allsopp, Amy and Westhead, Hayley (2007) It's all in the mind: PETTLEP-based imagery and sports performance. *Journal of Applied Sport Psychology*, 19(1): 80-92.
- Smith, Dave, Wright, Caroline and Cantwell, Cara (2008) Beating the bunker. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 79(3): 385-391.
- 高倉大匡 (2015) 近赤外線分光法. *Equilibrium Research*, 74(6): 552-556.
- Van Der Meulen, Marian, Allali, Gilles, Rieger, Sebastian, Assal, Frédéric and Vuilleumier, Patrik (2014) The influence of individual motor imagery ability on cerebral recruitment during gait imagery. *Human Brain Mapping*, 35(2): 455-470.
- Williams, Sarah and Cumming, Jennifer (2011) Measuring athlete imagery ability: The sport imagery ability questionnaire. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 33(3): 416-440.
- Zabicki, Adam, De Haas, Benjamin, Zentgraf, Karen, Stark, Rudolf, Munzert, Jörn and Krüger, Britta (2017) Imagined and executed actions in the human motor system: Testing neural similarity between execution and imagery of actions with a multivariate approach. *Cerebral Cortex*, 27(9): 4523-4536.
- Zhang, Qihan, Zhang, Peng, Song, Lu, Yang, Yu, Yuan, Sheng, Chen, Yixin, Sun, Shinan and Bai, Xuejun (2019) Brain activation of elite race walkers in action observation, motor imagery, and motor execution tasks: A pilot study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13(80).

〈連絡先〉

著者名: 相川 聖
 住 所: 兵庫県西宮市上ヶ原一番町 1-155
 所 属: 関西学院大学人間福祉学部人間科学科
 E-mail アドレス: s.aikawa@kwansei.ac.jp