

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：32672

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K24322

研究課題名(和文) 下肢・体幹の関係性を考慮した新しい体幹捻転トレーニング方法の開発

研究課題名(英文) New training method of trunk-twist considering the relationship between trunk and lower limb

研究代表者

高橋 和孝 (Takahashi, Kazutaka)

日本体育大学・体育学部・助教

研究者番号：60848539

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、体幹捻転のプライオメトリックトレーニング手段の一つであるパーツリストにおいて、体幹がより大きな捻転トルク・トルクパワーを発揮するために必要な下肢の動力学的特性について検討した。試技開始時の膝関節角度を3種類設け (Deep、Slight、Upright)、パーツリストを実施した。その結果、体幹捻転トルクおよびトルクパワーはSlightがUprightより大きかった。したがって、パーツリストにおいて試技開始時の膝関節角度の姿勢が、体幹捻転トルク・トルクパワーの発揮能力に影響することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プライオメトリックトレーニングの特性や効果に関する研究は、上肢や下肢の運動を対象とした研究が多く、体幹の運動に関する報告はほとんどない。また、体幹は股関節にて下肢と連結しているために、体幹の発揮するトルクやトルクパワーが下肢のふるまい方によって変化する可能性がある。本研究の結果は、体幹捻転運動時において体幹が発揮するトルクやトルクパワーが下肢の姿勢に影響を受けることを示しており、体幹捻転のプライオメトリックトレーニングを実施する上で重要な知見を示したと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the kinetic characteristics of the lower limb in helping the trunk generate greater torsional torque and torque power in the bar twist exercise. The bar twist exercise was assessed at three different knee joint angles at the beginning of the trial, i.e., deep, slight, and upright angles. The results showed that the torsional torque and torque power of the trunk were higher when the knee joint angle was slight than that when the angle was upright. Therefore, the study outcome implied that the knee joint angle at the beginning of the bar twist affected the participant's ability to demonstrate trunk torsion torque and torque power.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：伸張-短縮サイクル運動 体幹捻転 3次元動作分析 下肢 プライオメトリックトレーニング パーツリスト 骨盤

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

野球やテニス、陸上競技における投擲種目などをはじめとする投運動や打運動においては、伸張-短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle: SSC) 運動を伴う、体幹の捻転運動が起こっている (Elliott et al., 1997; Mero et al., 1994)。この SSC 運動を伴う体幹捻転運動は、投運動や打運動における優れたパフォーマンスの獲得に重要な貢献を示している (Mero et al., 1994; 島田ほか, 2000)。SSC 運動を利用した筋の爆発的な力・パワー発揮能力を改善するための代表的なトレーニング方法として、プライオメトリックトレーニングが挙げられる。多くの指導書・研究においてプライオメトリックトレーニングは、下肢あるいは上肢のエクササイズが紹介されており、体幹捻転に関する手段・方法に関する記述は極めて少ない。

また、各種の投運動や打運動は両脚立位で行われるために、下肢の動力学的特性が体幹のキネティクス・キネマティクス変数に影響を与える (堀内ほか, 2017)。しかし、体幹捻転のプライオメトリックトレーニングにおいて下肢のふるまい方に言及した研究はみられない。また、体幹捻転筋群の力発揮の大きさは体幹の捻転角度に依存する (Kumar, 1996)。しかし、これは骨盤を固定させた状態での研究結果であり、立位姿勢のように骨盤の回旋が生じる状況下では、等しい捻転角度であっても下肢の動力学的特性の影響を受けて、体幹が発揮する捻転トルクやトルクパワーが異なる可能性が考えられる。

以上のことから、下肢と体幹の関係性を考慮したトレーニング方法論について明らかにすることができれば、投運動や打運動が内在する各種競技に取り組む、様々な年代および運動能力の選手に対応した、より汎用性の高いプライオメトリックトレーニングの方法論を提案するための知見を得ることが期待できる。

2. 研究の目的

体幹捻転のプライオメトリックトレーニング手段の一つであるパーツイストを用いて、体幹がより大きな捻転トルク・トルクパワーを発揮するために必要な下肢の動力学的特性について明らかにすることとした。

3. 研究の方法

対象者は、筋力・パワートレーニングを定期的に行っている体育大学に所属する男性競技者 13 名とした。実験試技は高橋ほか (2017) と同様に、対象者の上方から見て時計回りにバーを回転させ、対象者の前方と水平面上で直交する軸とバーが成す角度が -75° の位置にある目印を通過した後、即座に反時計回りにバーを回転させる試技とした。その後、バーの角度が 180° に達する地点でバーを静止させた。この試技を質量 9.95 kg、長さ 2.00 m、慣性モーメントが 2.88 kgm^2 のバーを用いて実施した。下肢の姿勢による体幹のキネティクスの大きさの変化を検討するために、反動動作開始時における姿勢を Upright (膝関節 $0-20^\circ$ 屈曲位)、Slight (膝関節 $30-50^\circ$ 屈曲位)、Deep (膝関節 $60-80^\circ$ 屈曲位) の 3 種類設けた (図 1)。動作開始前にゴニオメーター (Biometrics 社製、SG150) を用いて開始姿勢をつくらせた。バーの方向転換の際にバーが目印から 10° 以上超えず、かつバーを静止させる際にバーが 180° から $\pm 10^\circ$ の範囲におさまった試技を有効試技とした。それぞれの目印の前後を大きく超えていないと検者が判断していた試技を最低 3 回獲得するまで実施した。これらの試技の各々で後述するバーの水平面上の角度を算出し、上述した角度の範囲内で遂行されていた有効試技のうち、最もバーの角速度が速い試技を分析対象とした。疲労の影響を少なくするために、試技の間には十分に休息をとらせた。

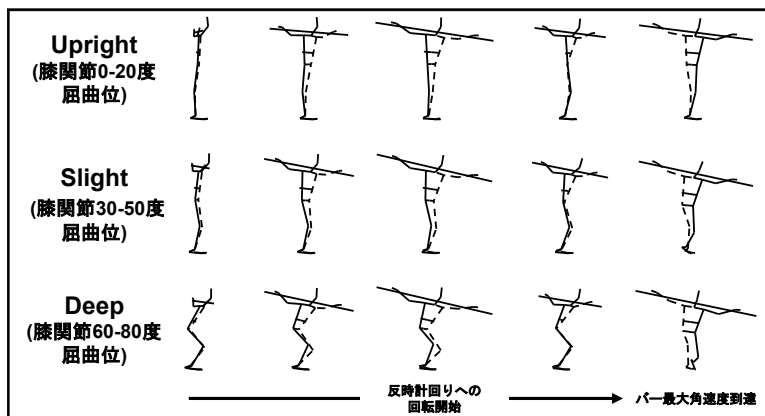


図 1 実験試技の概要

赤外線カメラ (Vicon Motion System 社製、Vicon MX13) を 8 台用いて、各試技における身体各部位 47 点 (Suzuki et al., 2014) およびバーの左右側面 2 点の座標データを、サンプリング周波数 200 Hz で収集した。静止座標系は試技開始時の対象者前方に直交する軸を X 軸、試技開始時の対象者前方を Y 軸、鉛直上向きを Z 軸とする右手座標系と定義した。得られた身体各

部の座標値は、座標成分ごとに最適遮断周波数 (X 軸 : 10.0-15.0 Hz、Y 軸 : 7.5-15.0 Hz、Z 軸 : 10.0-15.0 Hz) を Wells and Winter (1980) の方法にもとづいて決定し、Butterworth digital filter を用いて平滑化処理を行った。なお、データを一度フィルターに通した後、そのデータの順序を反転させてもう一度同じフィルターに通し、位相ずれを解消した (阿江・藤井、2002、p.172)。また、2 台のフォースプレート (Kistler 社製、9287C) を用いて左右脚それぞれの地面反力を計測した。地面反力データは 1,000 Hz のサンプリング周波数で計測し、A/D 変換処理をした後、パーソナルコンピューターに取り込んだ。なお、地面反力データの平滑化処理は実施しなかった。

バー、上脰、骨盤、体幹捻転の水平面上の角速度は、高橋ほか (2017) の研究と同様に算出した。バー、上脰、骨盤は試技開始時の対象者の前方に水平面上で直交する軸を基準に、反時計回りに回転している場合を正、時計回りに回転している場合を負と定義した。体幹捻転に関しては、骨盤を基準に上脰が反時計回りに回転している場合を正、時計回りに回転している場合を負と定義した。また、これらの角度を時間微分することで角速度を算出した。各試技におけるバーの回転時間を算出するため、高橋ほか (2018) と同様に、バーが時計回りに回転している区間を Countermovement Phase (以下「CP」と略す)、その後バーが反時計回りに回り始め、その角速度が最大に達するまでの区間を Main Phase (以下「MP」と略す) と定義し、これらの区間に要した時間をバーの回転時間として算出した。両区間に要した時間をもとに、CP を 0-66%、MP を 67-100%として規格化した。

体幹のキネティクス変数の算出に関して、Kariyama et al. (2017) が定義しているセグメント座標系および関節座標系を定義した。また画像より得られた身体座標点の 3 次元座標値と、フォースプレートにより計測された地面反力データを用いて逆動力学的計算を行い、左右肋骨下端の midpoint に設けた体幹仮想関節における捻転トルクを算出した。また、定義した体幹の捻転座標系 (Kariyama et al., 2017) における体幹の捻転角速度とトルクの内積によって、捻転トルクパワーを算出した。捻転角速度は左への捻転を正とした。なお、各セグメントの重心および身体重心、慣性モーメントの算出には阿江 (1996) の身体部分慣性係数を用いた。骨盤回旋トルクは、股関節トルクおよび股関節力が左右の股関節を介して骨盤の上下軸周りに作用するトルクとして定義し算出した (Iino and Kojima, 2001)。

算出項目は対象者全員における平均値±標準偏差で示した。すべての統計処理については、SPSS (IBM 社製、Statistics Version 25) を用いた。分析として採用した試技の再現性を級内相関係数 [ICC (1, 1)] を用いて判断した。また、条件間 (Deep, Slight, Upright) を要因とする、対応のある一元配置分散分析を用い、事後検定には Bonferroni 法による多重比較を実施した。有意水準は 5 %未満とした。

4. 研究成果

対象者それぞれの 3 回の実施試技における級内相関係数 [ICC (1,1)] は、Upright が 0.908 (95%信頼区間 : 0.885-0.931)、Slight が 0.855 (95%信頼区間 : 0.701-0.919)、Deep が 0.846 (95%信頼区間 : 0.691-0.902) であった。このことから、対象者が実施した試技の再現性は高いと考えられる。反動動作開始時 (0%) における膝関節角度は、Deep、Slight、Upright の順に有意に大きな値を示した (表 1)。対象者の身長で規格化した重心高の時系列的变化を図 2 に示した。局面全体における重心高の変位は Upright が 0.02±0.01 m、Slight が 0.07±0.04 m、Deep が 0.04±0.02 m であり、いずれの条件においても、局面全体において大きな変化はみられなかった。規格化時間の 1%ごとに統計処理をした結果、全体にわたって、Deep、Slight、Upright の順に有意に重心高が低かった (P<0.05)。以上の結果から、本研究の目的を検討する上で問題なく試技を遂行することができたと考えられる。

表 1 試技開始時における左右脚の膝関節角度

	Upright	Slight	Deep	F value	partial η^2	Difference
Left leg	0.57±5.46	31.65±7.65	62.85±9.77	296.50	0.96	Upright < Slight < Deep
Right leg	0.14±6.21	32.17±8.58	63.74±8.62	371.98	0.97	Upright < Slight < Deep

<: P < 0.05

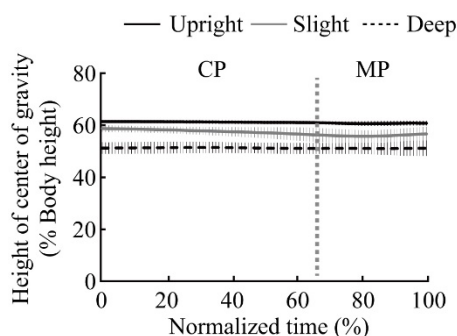


図 2 身体重心高の時系列的变化

Upright、Slight、Deep のそれぞれにおける下肢 3 関節の伸展-屈曲（底屈-背屈）角度の時系列的変化を図 3 に示した。Upright においては、CP 開始時において下肢 3 関節のいずれにおいてもほぼ 0°から始まっており、その後屈曲（背屈）へ推移していた。Slight および Deep では、下肢 3 関節のいずれにおいても CP・MP の局面全体にわたって屈曲位で推移していた。

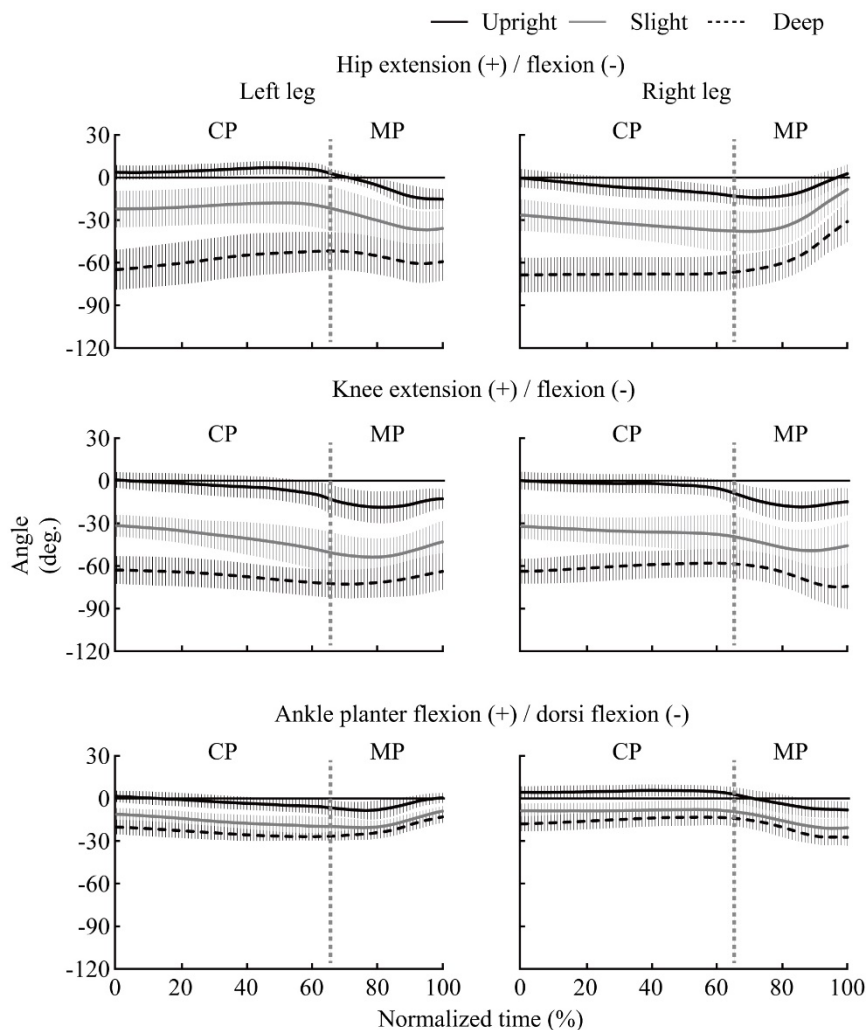


図 3 下肢 3 関節の伸展-屈曲（底屈-背屈）角度の時系列的変化

バー、上脛、骨盤および体幹捻転の最大角速度を条件間で比較した結果、バーおよび上脛において、Slight および Deep が Upright より有意に高かった（表 2）。一方、骨盤および体幹捻転の最大角速度に有意差は認められなかった。このことから、バーを速く回転させる上では、膝関節角度が適度に屈曲していることが重要であることが示唆された。

体幹捻転トルクおよびトルクパワーの最大値は、Slight が Upright よりも有意に高かった（表 3）。骨盤回旋トルクの最大値は、Deep、Slight、Upright の順に有意に高かった。このことから、Upright のような直立姿勢においては、体幹捻転および骨盤回旋トルクの発揮が小さく、バーの角速度が大きくなりにくいことが考えられる。また、骨盤回旋トルクの最大値は膝関節角度の大きい Deep が最も大きく、膝関節角度の小さい Upright が最も小さかったことから、下肢の姿勢が骨盤回旋トルクに影響することも示唆された。

体幹捻転トルクおよび骨盤回旋トルクの時系列データから（図 4）、体幹捻転においてはトルクの変化に条件間で大きな違いは見られなかった。一方、骨盤回旋においては Deep、Slight、Upright の順に、MP 開始に先立ちトルクが大きく立ち上がっている傾向がみられた。規格化時間の 1%ごとに統計処理をした結果、体幹捻転においては局面全体にわたって条件間に有意差が認められなかった。骨盤回旋においては、27-45%において Deep が Upright より有意に高い値を示し、46-66%において Deep、Slight、Upright の順に有意に高い値を示し、67-83%において Deep および Slight が Upright より有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。これらのことから、トルクの最大値だけでなく、その立ち上がりにおいても、下肢の姿勢が影響することが示唆された。

表2 パーツリストにおける最大角速度

	Upright	Slight	Deep	F value	partial η^2	有意差
バー	352.99±41.74	404.29±55.42	405.28±44.39	13.20	0.52	Upright < Slight, Deep
最大角速度 上腕	330.88±34.79	377.71±51.37	377.96±44.70	11.42	0.49	Upright < Slight, Deep
(deg/s) 骨盤	172.31±21.88	200.29±42.06	193.39±37.15	3.72	0.24	n.s.
体幹捻転	231.85±54.21	232.23±51.87	242.92±66.23	0.38	0.03	n.s.

<<: P < 0.05

表3 パーツリストにおける各種キネティクスの最大値

	Upright	Slight	Deep	F value	partial η^2	有意差
体幹捻転トルク(Nm/kg)	2.58±0.42	3.19±0.90	3.09±0.94	6.97	0.37	Upright < Slight
体幹捻転トルクパワー(W/kg)	4.66±1.58	6.54±2.66	5.97±2.72	6.32	0.35	Upright < Slight
骨盤回旋トルク(Nm/kg)	1.03±0.43	2.60±1.24	3.62±0.92	58.19	0.83	Upright < Slight < Deep

<<: P < 0.05

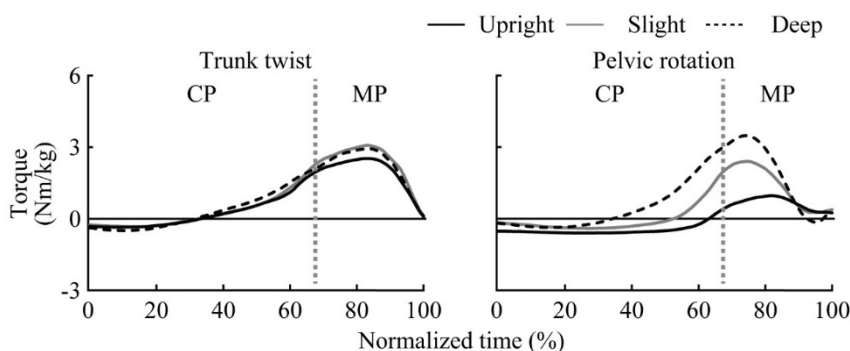


図4 体幹捻転および骨盤回旋トルクの時系列的変化

体幹捻転および骨盤回旋における角度-トルク関係について見てみると(図5)、体幹捻転においては条件間に大きな違いがみられなかった一方、骨盤回旋においてはCPからMPに切り替わるあたりにおいて、回旋角度に対するトルクの大きさがDeep、Slight、Uprightの順に大きい傾向がみられた。体幹捻転および骨盤回旋トルクが最大値を示したときにおける体幹捻転および骨盤回旋角度を算出した結果(表4)、体幹捻転においては条件間に有意差が認められなかったが、骨盤回旋においてはDeepおよびSlightがUprightにより有意に大きな負の値を示した。このことから、骨盤回旋においては大きなトルクを発揮するために、より骨盤を回旋させておくことが重要である可能性が示唆された。

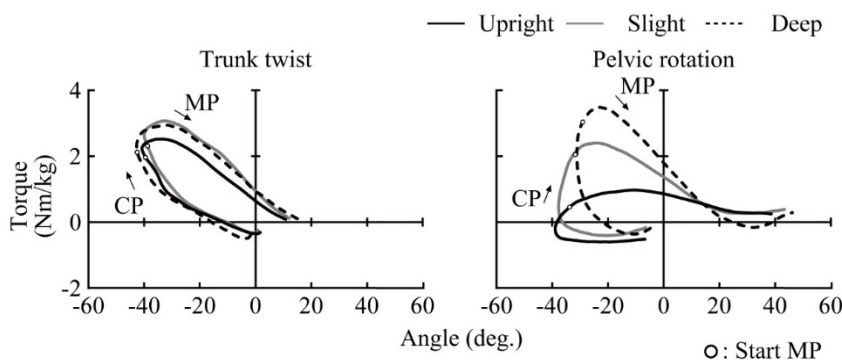


図5 体幹捻転および骨盤回旋における角度-トルク関係

表4 体幹捻転および骨盤回旋トルクの最大値における体幹捻転および骨盤回旋角度

	Upright	Slight	Deep	F value	partial η^2	有意差
体幹捻転	-33.98±9.54	-33.80±5.97	-35.61±8.88	0.48	0.04	n.s.
骨盤	-27.00±10.16	-22.28±5.37	-11.99±14.74	9.70	0.45	Slight, Deep < Upright

<<: P < 0.05

以上の結果から、異なる膝関節角度により下肢の姿勢を変化させることによって、下肢が骨盤を回旋させるトルクや体幹捻転のトルクが変化し、バーの角速度に影響を与えることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 高橋和孝, 篠原秀典, 山口雄大	4. 巻 2
2. 論文標題 両脚スプリットステップにおける下肢3関節のキネティクスの特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ソフトテニス研究	6. 最初と最後の頁 22-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 篠原秀典, 高橋和孝, 山口雄大	4. 巻 2
2. 論文標題 片脚スプリットステップにおける下肢3関節のキネティクス: 踏切脚の足向角に着目して	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ソフトテニス研究	6. 最初と最後の頁 7-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋和孝, 篠原秀典, 吉田拓矢, 浅井武	4. 巻 66
2. 論文標題 長さあるいは質量を増大させたバーを用いたパーツリストにおける体幹のキネティクス・キネマティクスの特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 体育学研究	6. 最初と最後の頁 361-372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5432/jjpehss.20076	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 高橋和孝	4. 巻 32
2. 論文標題 上肢・体幹におけるStretch-Shortening Cycle運動とそのバイオメトリクス	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 トレーニング科学	6. 最初と最後の頁 159-170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 高橋和孝, 篠原秀典, 緒方貴浩, 高橋憲司, 井田博史	4. 巻 1
2. 論文標題 ソフトテニス選手におけるリバウンドジャンプの遂行能力：ポジションの違いに着目して	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ソフトテニス研究	6. 最初と最後の頁 18-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 高橋和孝, 篠原秀典
2. 発表標題 両脚スプリットステップにおける下肢の力・パワー発揮特性
3. 学会等名 日本ソフトテニス研究会第3回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋憲司, 小峯秋二, 篠原秀典, 高橋和孝
2. 発表標題 ソフトテニスにおける新種目ハーフコートダブルス・トリプルの安全性に関する研究
3. 学会等名 日本ソフトテニス研究会第3回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazutaka Takahashi, Yuta Yamaguchi, Hidenori Shinohara
2. 発表標題 Role of knee flexion for trunk twist torque output during the bar twist
3. 学会等名 The 2020 Yokohama Sport Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazutaka Takahashi, Hidenori Shinohara
2. 発表標題 Kinematic parameters for large trunk twist torque outputs during the bar twist exercise
3. 学会等名 International Conference on Biomechanics in Sport 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋和孝, 篠原秀典
2. 発表標題 パーツリストトレーニングにおける体幹のキネティクス -捻転方向の切り替え時における体幹への負荷の大きさに着目して-
3. 学会等名 日本コーチング学会第31回学会大会 兼 第13回日本体育学会体育方法専門領域研究会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関