

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：32415

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19542

研究課題名（和文）三次元相同モデルを用いた体の「かたち」の多様性を読み解く

研究課題名（英文）Considering the diversity of body "shape" using the 3-D homologous body model

研究代表者

相馬 満利（Soma, Mari）

十文字学園女子大学・人間生活学部・助教

研究者番号：40805537

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、幾何学的形態測定学に基づく相同モデルという新しい視点のアプローチで体の「かたち」を評価し、相同モデルを用いて決められた測度だけの特徴や評価に捉われない体の「かたち」の特徴や多様性を明らかにすることを目的とした。その結果、競技による専門トレーニングが特異的な筋の発達を促し、競技や種目特有の特徴が存在することが明らかとなった。また、女子大生の体の「かたち」の特徴は、身体組成変数が同値であっても一様ではなく、多様性が示された。このことから、3次元人体形状相同モデル法は、従来のサイズ計測や「かたち」の表示だけでは検出できない、より詳細な体の「かたち」の特徴を明らかにすることが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、従来のサイズ計測や「かたち」の表示だけでは検出できない、より詳細な体の「かたち」の特徴を明らかにすることができた。本研究の結果は、スポーツにおいて一線級レベルに到達するためには特定の体幹部の「かたち」が必要であること、また、相同モデルを用いることで、形態計測では得られない体の「かたち」の詳細が明らかになることを示唆するものである。このことから、健康・スポーツ研究のための相同モデルを用いた形態計測の新たな視点を提示することが可能となった。この手法は、「かたち」を定量化するための新たな測定値を抽出する機会を開くものである。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to clarify the diversity as well as the characteristics of the body "shapes" by evaluating the human body "shape" a new perspective of the homology body model (HBM) based on the geometric Anthropometry, which was not shackled by the features and/or results obtained through the standardized measure. The results specialized training for sports promotes found that development of specific muscles, and that there are characteristics unique to each sport and event. Using the HBM may allow us to elucidate the "body shapes" unrelated to the measure of measured parts decided by the anatomical measuring points, which could not be evaluated through the conventional morphometry. This study suggests that reveal the body shape which cannot detect from morphological measurement. Present a new perspective on morphological measurement using the HBM.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：形態計測 身体計測 主成分分析

## 1. 研究開始当初の背景

従来、ヒトの体形、すなわち体の「かたち」は主として、骨格などをベースに体表に定められる解剖学的特徴点を基準として、手計測で、身長など床からの高さを測るアントロポメーターや幅を測る桿状計、いわゆる直接的計測法である伝統的なマルチン式計測法による計測値(長さ、幅、太さ)によって評価されてきた。しかしながら、体形とは人体の表面形状、つまり外形の「かたち」の特徴であると考え、マルチン式計測法など従来の解剖学的特徴点を基準とした人体寸法や人体形状の評価は、特定部位の特徴を明らかにすることはできるが、生身の「かたち」から寸法データの「数値」への変換であり、単純な測定値における体のサイズや「かたち」の評価にとどまり、個人差による要因が考慮されていない。

興味深い報告がある。2015年にニューヨークタイムズ紙で発表された研究は、同一身長と体重の現代人6名においても体のかたちの多様性を明らかにしている。つまり、BMIが同じでも脂肪・筋・骨などの体を構成する組織量の割合は必ずしも同じとはいえず、体重や身長からのIndexで正確に体型を判定するには無理がある。

近年、体の「かたち」を測る、いわゆる形態計測において、3次元人体計測装置が開発され、従来のソマトタイプの体型分類やテープメジャー、マルチン式による1次元の形態計測とは異なる部位や次元でヒトの体の構造、かたちを客観的、数量的に評価することが可能となった。しかし、形状データ(かたち)は、平均値や標準偏差などの計算が容易である寸法データ(長さ)に対し、統計処理や標準化の技術に乏しく汎用化が進んでいなかった。これらの問題点を解決するために、3次元人体計測装置で得られたポリゴンデータを幾何学的形態測定学に基づいて(独)産業技術総合研究所の持丸と河内(2000)が中心となって相同モデル化する手法が開発された。寸法データの距離変量だけでなく、形状の多様性を座標の変異そのまま主成分分析をすることによって変異パターンの分類や傾向を抽出、表現する技術である。

相同モデルを用いた研究は、スポーツ科学や健康科学の分野では皆無であり、先駆けの研究といえる。本研究によって、スポーツ選手の種目に応じた特異的な身体の変化や肥満体形や加齢変化を捉えることは、スポーツのあり方やパフォーマンスを向上させる上で重要な因子となり、また、コーチや指導者がアスリートのコンディショニングの評価やトレーニングメニューの質や量を決定するための資料となる。また、競技力向上を考えるうえでパフォーマンスよりも先に体の変化として現れる体のプロポーションや形態すなわち体の「かたち」を定量化することが非常に重要であり、様々なスポーツ競技や種目における最適なパフォーマンスは「かたち」が重要な因子になってくる。本研究はこれら未解決の問題に取り組み、全身の体の「かたち」の定量化へ向けた基盤づくりを行うこれまでにない新たな試みであり、非常に特色のある先駆けの研究であるといえる。

## 2. 研究の目的

本研究は、幾何学的形態測定学に基づく相同モデルという新しい視点のアプローチで体の「かたち」を評価し、相同モデルを用いて決められた測度だけの特徴や評価に捉われない体の「かたち」の特徴や多様性を明らかにすることを目的とした。

(1) 競技や種目に特化した体の「かたち」の検討: ジュニアアスリートからトップアスリートまでの発掘・育成・強化の体制の充実に加え、世界の強豪国に競り勝つために、医学や情報分野、用具の開発など多方面からのマルチなサポートが急務である。本研究の目的は、全身の競技選手の体のかたちを定量的に分類化する試みとして、競技や種目に特化した形態的特徴を提示、分類することである。トレーニング効果やプログラムの作成、競技選択、種目選択に役立つことが考えられる。

(2) 全身の体の「かたち」を定量的に分類・評価する試み: 肥満の問題がクローズアップされる一方で、その測定法や評価基準については必ずしも統一的な見解は示されていない。BMIが体格指数の判定に使われているが、BMIが同じでも筋・脂肪など体を構成する組織量の割合は必ずしも同じとはいえず体重や身長からのIndexで正確に肥満を判定するには無理がある。本研究の目的は、肥満体形を定量的に分類化する試みとして、キャリパー法、超音波法、空気置換法、BMIから求めた肥満体形指標と照合しながら多様な体型における肥満体形の特徴を定量的に明らかにすることである。

## 3. 研究の方法

対象者は、日本代表を含む男子体操競技選手20名および日頃ほとんど運動を行っていない健康な一般男性22名、日本代表を含む男子競泳選手31名および日頃ほとんど運動を行っていない健康な一般男性31名、栄養士養成課程専攻の女子大学生41名であった。

身体組成の計測には、空気置換法による体脂肪測定装置(以下「BODPOD」と略す; Body Composition System Mab-1000、Life Measurement, Inc., USA)を用い、Brozek(1963)の身体密度推定式を用いて体脂肪率(%), 脂肪量(kg), 除脂肪量(kg)の算出を行った。

形態計測には、光学式三次元人体計測装置(以下「BLS」と略す; Body Line Scanner: 浜松ホト

ニクス社製)を用いた。被験者には、基準となる解剖学的ランドマークを皮膚上に23点貼付し、立位姿勢における全身の撮像を行った。

貼付した解剖学的ランドマーク点を基準として、各対象者の3次元スキャンデータに13、378個の点群からなる日本人の標準寸法を持つジェネリックテンプレートモデル(Dhaiba Model)をフィッティングし、全身の相同モデルを作成した。相同モデル化した対象者の特徴を定量化するために、各対象者の点群座標データ(X、Y、Z)を変数として考え、全頂点に対してPCAを行い、体幹部の「かたち」の特徴を明らかにした。なお、PCAには、統計解析ツールHuman Body Statistica(産業総合技術研究所)を用いて対象者ごとの点群データに対する主成分スコア(以下「PCS」と略す; Principal Component Score)を算出し、主成分(以下「PC」と略す; Principal Component)の寄与率および累積寄与率を算出した。加えて、PCAにより算出される固有ベクトルとPCSから、座標データ(X、Y、Z)が算出可能なため、各PCにおける任意(特徴PCのみ)のPCSの仮想形状を再構築(生成)できる。そのため、抽出された各PCの平均値±3SDの仮想形状を再構築し、各PCの表す形態変異を明らかにした。各PCの意味づけは、平均形状から±3SDまでの仮想形状および面間距離(各頂点のうち最近傍点までの直線距離の差)のヒートマップの主観的評価に加え、重回帰分析の結果と偏回帰係数で決定し、各PCの表す形態変異を解釈した。これら一連の相同モデル作成作業には、相同モデル化支援ソフトウェアHBM-Rugle(Medic Engineering)を用いて行った。

身体組成値および形態計測値の群間比較には、対応なしのt検定を行なった。統計処理は、IBM SPSS statistics Ver. 26(IBM社製)を用いて行った。なお、すべての検定結果は、危険率5%未満をもって有意とした。

#### 4. 研究成果

(1) 競技や種目に特化した体の「かたち」の検討: 本研究の目的は、日本代表を含む男子体操競技選手における体幹部の「かたち」の特徴および競泳選手の体幹部の特徴および体の「かたち」とパフォーマンスとの関係を明らかにすることを目的とした。その結果、以下のことが明らかとなった。

<日本代表を含む男子体操競技選手の体幹部の特徴>

表1 被験者の身体的・形態的特徴

Variables	Unit	Gymnasts (n = 20)		Non-Athletes (n = 22)		t-value	P-value	E.S.
		Mean	SD	Mean	SD			
Age	(yrs)	22.8 ± 3.8	n.s.	22.2 ± 3.8	0.308	0.760	0.095	
Body Height	(cm)	162.8 ± 5.0	***	171.5 ± 5.2	-5.519	<.0001	1.705	
Body Weight	(kg)	59.1 ± 5.5	***	62.9 ± 9.0	-4.127	<.0001	1.275	
BMI	(kg/m <sup>2</sup> )	22.0 ± 1.3	n.s.	22.8 ± 2.5	-1.134	0.263	0.350	
%Fat	(%)	7.0 ± 2.7	***	14.9 ± 4.3	-7.016	<.0001	2.168	
Lean body mass	(kg)	52.8 ± 8.2	n.s.	51.5 ± 6.7	-0.073	0.942	0.023	
Length								
Upper limb	(cm)	71.4 ± 2.6	n.s.	71.3 ± 4.7	-1.167	0.250	0.361	
Lower limb	(cm)	81.7 ± 2.8	***	85.3 ± 4.0	-3.912	<.0001	1.209	
Breadth								
Acromion	(cm)	38.2 ± 2.2	**	40.2 ± 1.6	-3.157	0.004	0.975	
Greater trochanter	(cm)	26.4 ± 3.2	n.s.	25.6 ± 4.1	0.701	0.488	0.216	
Circumference								
Neck	(cm)	37.0 ± 2.1	n.s.	37.6 ± 7.3	-0.810	0.423	0.250	
Chest	(cm)	90.3 ± 11.0	n.s.	86.6 ± 6.5	0.432	0.668	0.134	
Waist	(cm)	71.8 ± 3.5	**	75.4 ± 7.5	-2.691	0.010	0.832	
Hip	(cm)	87.6 ± 3.2	***	92.4 ± 4.8	-5.356	<.0001	1.655	
Upper Arm	(cm)	31.1 ± 2.2	***	25.8 ± 2.7	4.855	<.0001	1.500	
Forearm	(cm)	27.0 ± 2.2	***	23.8 ± 1.9	3.416	0.001	1.056	
Thigh	(cm)	48.0 ± 4.9	**	50.8 ± 4.3	-2.793	0.008	0.863	
Calf	(cm)	36.0 ± 1.6	n.s.	36.8 ± 2.1	-2.008	0.051	0.620	
WHR	(W/H)	82.2 ± 2.4	n.s.	81.9 ± 6.0	0.208	0.836	0.064	

gymnasts vs non-athletes difference: \*, p < 0.05, \*\*, p < 0.01, \*\*\*, p < 0.001, n.s.: no significant, E.S.: effective size.  
WHR: Waist to hip ratio

①身体的および形態的データ(1次元)において、体操選手は一般男性と比較して、身長、体重、体脂肪率、下肢長、臀囲、肩峰幅、腹囲および大腿囲において統計上有意に小さい値を示した。また、上腕囲および前腕囲において統計上有意に大きな値を示した。一方、除脂肪量、上肢長、大転子幅、頸囲、胸囲、下腿囲およびウエストヒップ比において統計上有意な差はみとめられなかった(表1)。

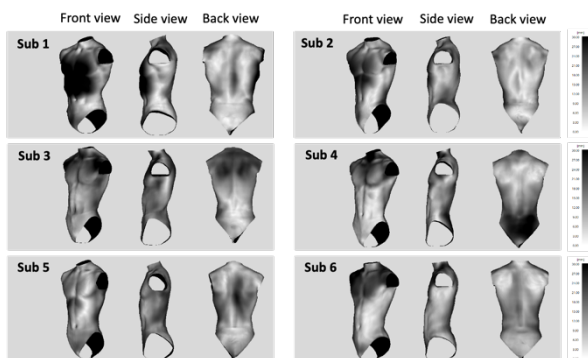


図1 仮想形状の面間距離

統計上有意な差がみられたPC1(寄与率35.1%)およびPC3(寄与率1.0%)の要素のみで再構築されたJNGY群6名(Sub 1 - Sub 6)個人の体幹部形状とCLGY群14名の平均形状の相違を面間距離として示したものである。ゆかや跳馬を得意とする選手は(Sub 3 - Sub 6)、上肢が顕著に大きく、あん馬やつり輪を得意とする選手は(Sub 1 - Sub 2)、胸部が顕著に大きいことが示された。

②ゆかや跳馬を得意とする日本代表選手は、上肢が顕著に大きく、あん馬やつり輪を得意とする選手は、胸部が顕著に大きいことが示された。これらの結果から、体の「かたち」は、競技レベルでは大きな違いはみられず、同じ競技を行う選手同士の体の「かたち」は、類似する傾向が示唆された。一方、日本代表選手は、得意とする競技種目特有の特徴を有していることが示された(図1)。

＜日本代表を含む男子競泳選手の体幹部の特徴およびパフォーマンスとの関係＞

表2 競泳選手および一般男性の特徴

Variables	Swimmer				Non-Athlete (n=31)		p-value	t-value	E.S.
	Total (n=31)	Olympian A (FINA: 944)	Olympian B (FINA: 982)	Olympian C (FINA: 911)	Mean	SD			
Age (year)	20.8 ± 1.7	22.0	24.2	24.8	19.8 ± 2.4	0.074 <sup>ns</sup>	1.820	0.47	
Body height (cm)	173.4 ± 5.7	173.6	187.5	176.0	171.1 ± 5.7	0.118 <sup>ns</sup>	1.585	0.41	
Body weight (kg)	70.1 ± 6.0	77.6	83.7	72.7	62.1 ± 8.9	<0.001 <sup>***</sup>	4.085	1.06	
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.3 ± 1.2	25.7	23.8	23.5	21.2 ± 2.9	0.001 <sup>***</sup>	3.551	0.92	
%fat (%)	13.2 ± 2.2	13.6	13.0	9.7	14.6 ± 4.2	0.095 <sup>ns</sup>	-1.699	0.44	
Lean body mass (kg)	60.8 ± 5.2	67.0	72.8	65.6	51.2 ± 6.5	<0.001 <sup>***</sup>	6.329	1.64	
<b>Circumference (cm)</b>									
Chest	98.7 ± 4.3	101.1	100.1	102.9	86.3 ± 6.3	<0.001 <sup>***</sup>	8.873	2.29	
Waist	77.5 ± 3.6	81.6	81.6	76.2	75.3 ± 7.2	0.142 <sup>ns</sup>	1.489	0.38	
%Circumference (%)	78.6 ± 3.6	80.8	81.5	74.0	87.3 ± 4.9	<0.001 <sup>***</sup>	-7.778	2.01	
<b>Circumference (NBW<sup>1/3</sup>)</b>									
Chest	24.0 ± 0.8	23.7	22.9	24.7	21.9 ± 1.4	<0.001 <sup>***</sup>	7.256	1.87	
Waist	18.8 ± 0.6	19.1	18.6	18.3	19.1 ± 1.6	0.367 <sup>ns</sup>	-0.909	0.23	
<b>Breadth (cm)</b>									
Acromion	39.3 ± 2.2	40.7	33.6	42.9	38.7 ± 2.4	0.316 <sup>ns</sup>	1.011	0.26	
Chest	34.3 ± 2.3	36.0	33.7	36.9	30.3 ± 3.1	<0.001 <sup>***</sup>	5.741	1.48	
Waist	28.4 ± 1.3	28.6	29.2	27.5	27.8 ± 2.6	0.308 <sup>ns</sup>	1.028	0.27	
<b>Breadth (NBH)</b>									
Acromion	22.7 ± 1.4	23.4	17.9	24.4	22.6 ± 1.5	0.882 <sup>ns</sup>	0.149	0.04	
Chest	19.8 ± 1.2	20.7	18.0	21.0	17.7 ± 1.9	<0.001 <sup>***</sup>	4.899	1.27	
Waist	16.4 ± 0.7	16.5	15.6	15.6	16.3 ± 1.6	0.820 <sup>ns</sup>	0.229	0.06	
<b>Cross section aspect ratio (%)</b>									
Chest	64.8 ± 7.4	64.2	69.7	57.5	67.4 ± 4.1	0.108 <sup>ns</sup>	-1.631	0.42	
Waist	68.4 ± 3.9	72.0	69.5	68.7	70.7 ± 12.8	0.340 <sup>ns</sup>	-0.962	0.25	

Swimmer vs Non-athlete difference: \*\*p<0.001, ns: no significant, E.S.: effective size.

①身体的および形態的データ（1次元）において、競泳選手は一般男性と比較し、体重、BMI、除脂肪量、胸囲、胸囲体重<sup>1/3</sup>比、胸部横径および胸部横径/身長比において統計上有意に大きな値を示した。また、腹囲/胸囲比において統計上有意に小さい値を示した。一方、身長、体脂肪率、腹囲、腹囲体重<sup>1/3</sup>比、肩峰間幅、腹部横径、肩峰間長/身長比、腹部横径/身長比、胸部矢状径/横径比および腹部矢状径/横径比において統計上有意な差はみとめられなかった（表2）。

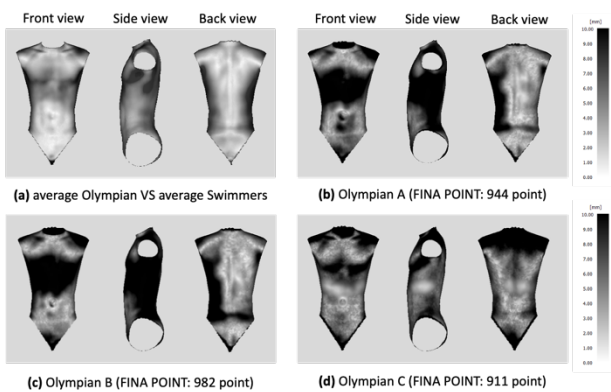


図2 PC1 (28.3%)、PC2 (12.9%)、PC6 (4.5%)、PC13 (1.7%)からなる仮想形状の面間距離  
 (a) FINA ポイントが高い日本代表選手3名とその他の選手28名の平均形状、(b)は、FINA ポイントが944ポイントの日本代表選手、(c)は、FINA ポイントが982ポイントの日本代表選手、(d)は、FINA ポイントが911ポイントの日本代表選手を重回帰分析のステップワイズ法によって選択されたPC1(寄与率28.3%)、PC2(寄与率12.9%)、PC6(寄与率4.5%)およびPC13(寄与率1.7%)のみでそれぞれ再構築された異種寄与率47.4%の面間距離を示した。その結果、日本代表選手はその他の選手と比較して、胸部や広背筋、前腕筋の発達と、腹部が細い傾向が示された。

②競泳選手の特徴は、胸部、腹部、広背筋の発達がみられ、より腹部が狭い傾向が示された。パフォーマンスの指標であるFINA ポイントは体の「かたち」と関係性がみられた。このことから、胸部、腹部、広背筋の発達がパフォーマンス向上のために重要な指標であることが示唆された（図2）。

(2) 全身の体の「かたち」を定量的に分類・評価する試み:

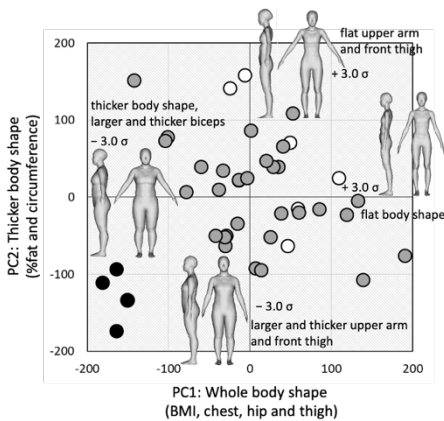


図3 第1主成分と第2主成分で構成される女子大学生の「かたち」の変異

①肥満群の体の「かたち」は、上腕部や腹部、臀部、大殿筋下部および下腿によって特徴づけられた。一方、低体重群は、普通体重群と比較して、明らかな差はみられなかった（図3）。

②同じBMI19.3 および体脂肪率 24.7%であっても、胸部前部や腹部、体幹背部、臀部および大腿部の変化を示した。また、同じ除脂肪量 41.5kg であっても、体幹背側面および臀部の変化を示した（図4）。

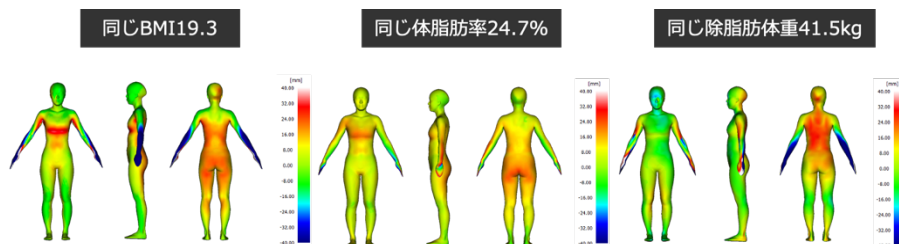


図4 同じ身体組成で構成される女子大学生の「かたち」の特徴

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 相馬 満利, 柏木 悠, 船渡 和男	4. 巻 67
2. 論文標題 三次元相同モデルを用いた日本代表を含む男子競泳選手の体幹部における「かたち」の定量化とパフォーマンスの関係	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 体育学研究	6. 最初と最後の頁 699-714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5432/jjpehss.22010	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 相馬満利, 柏木悠, 水鳥寿思, 立花泰則, 船渡和男	4. 巻 69
2. 論文標題 3次元相同モデルを用いた日本代表を含む男子体操競技選手の体幹部における「かたち」の定量化	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 体育学研究	6. 最初と最後の頁 249-261
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5432/jjpehss.23039	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 木内聖, 平野智也, 相馬満利, 藤戸靖則, 野澤巧, 榎屋剛, 尹鉉喆, 柏木悠, 船渡和男
2. 発表標題 発育発達による歩行中のCOP軌跡の変化
3. 学会等名 日本バイオメカニクス学会第26回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古田なつみ, 柏木悠, 相馬満利, 池川繁樹, 船渡和男
2. 発表標題 一般成人女性における体幹部の体分節パラメーター
3. 学会等名 日本バイオメカニクス学会第26回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kiuchi, A., Hirano, T., Soma, M., Fujito, Y., Nozawa, T., Enokiya, T., Yoon, H., Kashiwagi, Y., Funato, K.
2. 発表標題 Relationship between dynamic and static measurements of medial longitudinal arch in elementary school girls.
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 Fujito, Y., Kashiwagi, Y., Hirano, T., Furuta, N., Soma, M., Takegoshi, M., Jin, K., Funato, K.
2. 発表標題 Relationship between race pacing and performance on each slope in 10km cross-country roller skiing.
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 Furuta, N., Kashiwagi, Y., Soma, M., Ikegawa, S., Funato, K.
2. 発表標題 Characteristics of Limb compositions and body tissue distributions in Japanese sedentary young females.
3. 学会等名 The 2020 Yokohama Sport Conference (国際学会)
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
---------	---------