［原著論文］

速度およびピッチの統制が走動作に及ぼす影響
―ナンバ様走りの生成メカニズムに関するバイオメカニクス的研究―

山田　洋*1・内山秀一*1・高野　進*2・長尾秀行*3
・宮崎彰吾*4・小河原慶太*1

Effect of control of running velocity and step frequency on running style
― Study of the biomechanics on generation mechanism of the Nanba style running ―

by

Hiroshi Yamada, Shuichi Uchiyama, Susumu Takano, Hideyuki Nagao,
Shogo Miyazaki and Keita Ogawara

Abstract

The purpose of this study was to examine whether Namba movement appears under conditions of controlled running velocity and step frequency. The subjects were eight healthy men（age：22.6±2.2 years old, height： 172.8±3.9 cm, weight：66.4±6.7 kg）. The subjects ran on a treadmill and image analysis was conducted. We set three speed conditions： 2 times（low）2.5 times（middle）, and 3 times（high）normal walking speed of the subjects. Furthermore, we set three pace conditions for each speed condition：144, 160, and 200 steps/min. We compared the pace（step/min）, stride（m/step）, up-and-down motion of CG（%）, waist rotation angle（deg）and shoulder rotation angle（deg）for each condition. The results obtained were as follows.

1）The up-and-down motion of CG reduced as pace increased.

2）The rotation angle of the waist also reduced as pace increased.

3）The rotation angle of the shoulder and the relative rotation angle reduced as speed decreased and as pace increased.

These results suggested that a Namba movement appears under conditions of controlled running velocity and step frequency.

Ⅰ　緒言

「走」動作は日常生活の中やスポーツでもみられる基本的な動作であり，下肢のみならず全身を使ったダイナミックな動作である。この走動作において，大きい走速度を得るために多くの研究や議論がなされ，走動作における下肢の動きや機能が明らかにされてきた[1),2)]。

一方，走動作中の体幹や上肢の働きについても研究が行われている。小木曽[3)]は「体幹が非常に大きな質量を有し，慣性モーメントも大きいことを考えれば，不必要な体幹の振動は疾走に対して

＊1　東海大学体育学部体育学科　　＊2　東海大学体育学部競技スポーツ学科
＊3　東海大学大学院総合理工学研究科博士課程　　＊4　筑波大学大学院人間総合科学研究科博士課程

不利にはなれ，有利には働かない。」と述べている。また，上肢も，下肢と同様にダイナミックに動く部位として重要な役割を果たしており，伊藤[2]は走動作中の腕振りの役割として体のねじれの防止をあげている。走運動時における上肢の腕振りが走速度へ及ぼす影響[4),5)]や腕振りの機能[6),7),8),9),10)]についても調べられており，大きな走速度獲得には必要な要因であることが明らかになっている。

これらに対し，近年，異なった観点から，走動作と上肢・体幹の係わりが調べられている。辻本ら[11)]は片腕もしくは両腕の腕振りを制限することで，体幹部の回旋角度が減少したこと，さらに，腕振りを制限することで走動作のピッチやストライドの変化が生じて走速度の減少が見られたことを報告している。また，山田ら[12)]は上肢に対して運動課題を課した状況での走動作をバイオメカニクス的に検討し，体幹の回旋角度が減少し，ナンバ様な動きが出現することを報告している。ナンバという言葉はもともと「捻らず」，「うねらず」，「踏ん張らず」といった古武術的なエッセンスを含んだ基本的な動作を応用したものであり，「腕を振らない」動きであると言われている[13),14)]。

これらの先行研究では，いずれも「腕振り」をコントロールすることにより，体幹を捻らず，ピッチが多い，いわゆるナンバ様な動きが出現することを認めている。しかしながら我々は，これらの報告と逆のアプローチ，すなわち，ピッチをコントロールすることで，体幹の捻りが小さい，ナンバ様な動きが出現するのではないかと考えた。そこで本研究では，映像解析を用いて，速度及びピッチを統制した条件下において，体幹部の回旋運動が小さい，ナンバ様な動きが出現するか否かを検討することを目的とした。

Ⅱ　方法

1．被験者　被験者は健康な成人男性 8 名であった（年齢 22.6±2.2 歳，身長 172.8±3.9 cm，体重 66.4±6.7 kg）。実験に際して，被験者に課題の内容と課題条件に応じて走行することを予め説明し，十分理解した上で参加の同意を得た。なお，本研究は，東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認を得た上で実施されたものである。

2．運動課題

被験者には，走者応答型のトレッドミル上で，予め各個人が快適と感じる速度で歩行してもらい，その歩行速度の「2 倍（Low）」・「2.5 倍（Middle）」・「3 倍（High）」の 3 つの速度条件を設定し，その後，設定した速度で課題を実施した。さらに，各速度条件において，ピッチ（step/min）を「144 step/min」・「160 step/min」・「200 step/min」の 3 つのピッチ条件を設定した[15)]。ピッチ条件は，ピッチと同じリズムの電子メトロノーム音に合わせて脚が接地するように走行した。

各速度・ピッチ条件の動きに慣れてもらうために予め充分に練習を行い，課題試技が遂行できているとみなした時点から測定を開始した。その際，速度条件（Low, Middle, High）とピッチ条件（144 step/min, 160 step/min, 200 step/min）の組み合わせは計 9 通りの課題条件となり，各課題条件で 1 分間走行した。

また各課題試技の間には十分な休憩をとり，疲労の影響がでないよう配慮した。なお，課題試技の実施の順番はランダムとした。

3．走動作の記録

本実験では，トレッドミル上での走動作を，デジタルビデオカメラ（SSC-DC690，SONY 社製）を左右斜め前方と後方の計 3 台設置して，撮影速度 60fields，シャッタースピード 1msec で疾走フォームを記録した。なお，3 台のビデオカメラには同期装置（PH-101，DKH 社製）を用いて同期信号を入力し同期した。

また映像の記録の際，映像解析を行うため被験者は黒の全身タイツを着用し，身体各部表点にマーカーを貼付した。

4．分析方法

1）分析点

身体各部の計測点は頭頂，耳珠点，肩峰，肘，手首，手先，大転子，膝，外踝，踵，母指球，つま先（頭頂以外は全て左右 2 ポイントづつ）の計

23 ポイントとした。

映像解析には動作解析ソフトウェア（Frame-DIAS Ⅳ，DKH 社製）を用いて，自動及び手動で身体各部のデジタイズを行った。さらに，3 次元 DLT 法を用いて，3 次元座標値を求め，身体のキネマティクスデータを算出した。なお，身体合成重心の算出には阿江ら[16]の身体部分慣性係数を用いた。また，得られた 3 次元座標値に対して残差解析[17]を行い，遮断周波数（4〜6 Hz）を決定し，Butterworth 型 Low-Pass-filter を用いて時系列データの平滑化を行った。

なお，分析を行うにあたって，進行方向に対して左右方向を x 軸（前額軸），前後方向を y 軸（矢状軸），上下方向を z 軸（鉛直軸）となるように 3 次元座標を設定した。

2）分析範囲

撮影した映像データから，動作が安定したと考えられるランニング 1 サイクルが完全に映っている範囲と，前後 15 コマを分析範囲とした。本研究におけるランニング 1 サイクルは，被験者の右踵がトレッドミルのベルトに接地した時期から再び右踵が接地した時期までと定義した。

3）分析項目

・ピッチ（step/min）：歩数（2 歩）をランニング 1 サイクル（右踵接地から再び右踵が接地するまで）に要した時間で除して算出した，1 分あたりの歩数。
・ストライド（m/step）：設定したトレッドミルの速度をピッチで除して算出した，1 歩あたりの距離。
・身体重心の上下動（%）：身体合成重心の鉛直成分（z 方向）の変位（cm）を各被験者の身長（cm）で除して規格化した値。
・腰回旋角度（deg）：左右両大転子を結び，水平面（xy 平面）に投影したベクトルと x 軸（前額軸）とのなす角度。
・肩回旋角度（deg）：左右両肩峰を結び，水平面（xy 平面）に投影したベクトルと x 軸（前額軸）とのなす角度。
・相対回旋角度（deg）：左右両肩峰を結び，水平面（xy 平面）に投影したベクトルと左右両大転子を結び，水平面（xy 平面）に投影したベクトルとのなす角度。

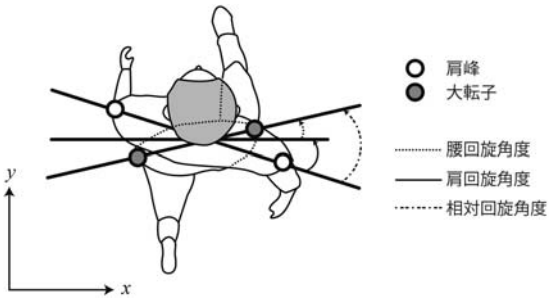


図 1　各回旋角度の角度定義

なお，各回旋角度の角度定義を図 1 に示す。

4）統計処理

ストライドならびに各回旋角度について，速度条件とピッチ条件を要因とした二元配置分散分析を行った。有意な差が見られた場合，post-hoc-test として Bonferroni の方法を採用した。なお，統計学的有意水準は 5% 未満とした。ピッチについては条件として統制を行っているため統計処理を行わなかった。

Ⅲ　結果および考察

1．ピッチとストライドについて

各課題条件時のピッチおよびストライドを表 1 に示した。

ピッチ条件と実際のピッチ（表 1 上段）をみると，課題のピッチ条件はおおむね満たせていると考えることができる。一方，ストライド（表 1 下段）は速度条件が大きくなると有意に増大した。また，ピッチ条件が多くなるとストライドは有意に減少した。

一般的に走速度はピッチとストライドの積で求めることができることから，走速度の増大はピッチもしくはストライドの増大によることを示している。つまり，同一のピッチであれば，ストライドを増大することで走速度が増大する。本研究では，ピッチ数を統制しているため，トレッドミルの速度が増大することに対して，ストライドを増大させて対応していたと考えられた。

表１　各課題条件時のピッチおよびストライド

（Mean±SD）　n＝8		ピッチ条件 144 step/min	ピッチ条件 160 step/min	ピッチ条件 200 step/min
速度条件	Low（9.0±0.63 km/h）	147.0±2.7 1.02±0.08	163.1±4.3 0.92±0.09	201.2±7.5 0.75±0.07
	Middle（11.3±1.03 km/h）	145.3±7.4 1.30±0.14	159.4±1.4 1.18±0.11	193.9±6.0 0.98±0.10
	High（13.5±1.05 km/h）	154.3±10.7 1.46±0.16	162.5±3.7 1.39±0.12	194.7±4.7 1.16±0.10

上段：ピッチ（step/min）　下段：ストライド（m/step）
交互作用：n.s
主効果：速度 p＜0.001　low＜Middle＜High
ピッチ p＜0.01　144＞160＞200

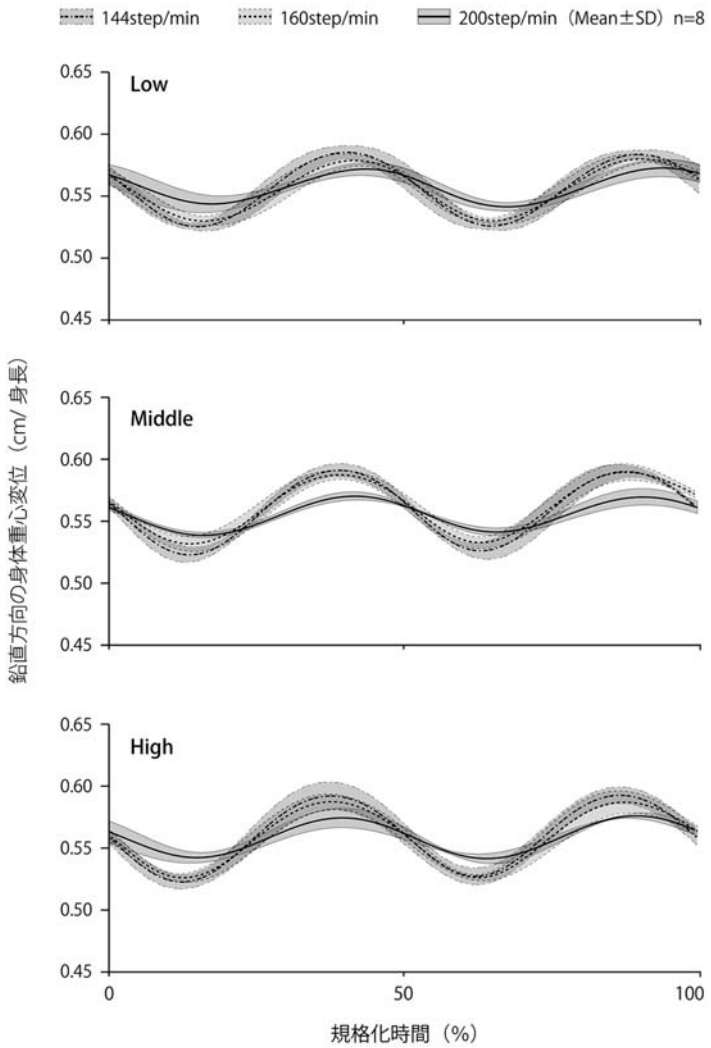


図２　各条件時における走動作中の重心の上下動（鉛直方向の変位）の時系列データ

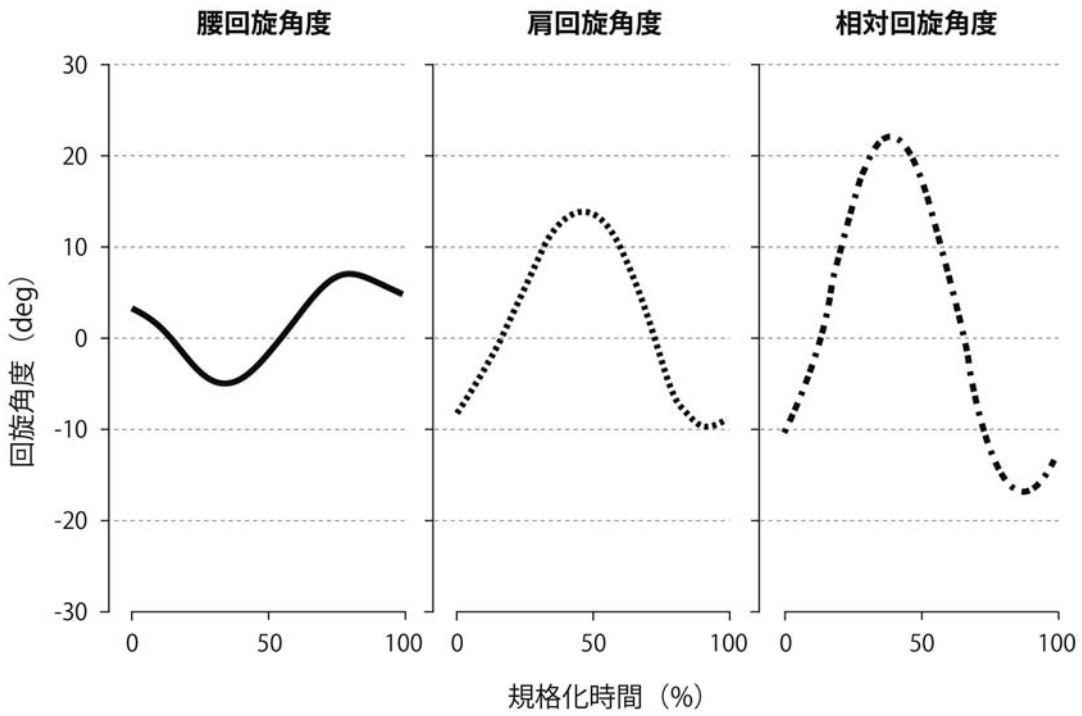


図 3　各回旋角度の時系列変化の代表例

2．身体重心の上下動について

図 2 は横軸が 1 ランニング周期を 100%に規格化した時間を示し，縦軸は身体合成重心の鉛直成分の変位を被験者の身長で除して規格化した平均値と標準偏差を示す。いずれの速度条件においても，ピッチの少ない走行よりもピッチの多い走行のほうが重心の上下動は小さい，すなわち振幅が小さいことが分かる。また，同一のピッチ条件であれば，速度条件にかかわらず同様の振る舞いをしていた。つまり，重心の上下方向の振る舞いは，走速度ではなくピッチに起因することが示唆された。

3．体幹部の回旋運動について

各課題条件時の体幹部の水平面における回旋角度の時系列変化の代表例を図 3 に示した。

横軸は 1 サイクルを規格化した時間を示し，縦軸は回旋角度を示している。腰回旋角度の方が肩回旋角度よりも振幅が小さいことがわかる。腰回旋角度では 30%付近で最小値を示しており，80%付近で最大値を示している。一方，肩回旋角度は 40%付近で最大値を示しており，90%付近で最小値を示している。30～40%付近は左足接地前，80～90%付近は右足接地前にあたるので，接地前に回旋方向が逆になっていた。また，腰の回旋の方が肩の回旋よりも先行して逆方向へ回旋をしていた。

次にこれらの回旋角度の最大値（絶対値）について，各条件間で比較を行った。図 4 は腰回旋角度，肩回旋角度，相対回旋角度の最大値の平均値を各条件間で比較している。横軸に速度条件，縦軸に回旋角度を示した。腰回旋角度については，144＞200,160＞200 からピッチが多いと回旋角度は減少した。一方，速度の違いによる回旋角度の違いは見られなかった。肩回旋角度については，160＞200 から，ピッチが多いと回旋角度は減少した。また，Low＜High, Middle＜High から，速度が小さいと回旋角度は減少した。相対回旋角度については，144＞200，160＞200 からピッチが多いと回旋角度は減少した。また，Low＜Mid-

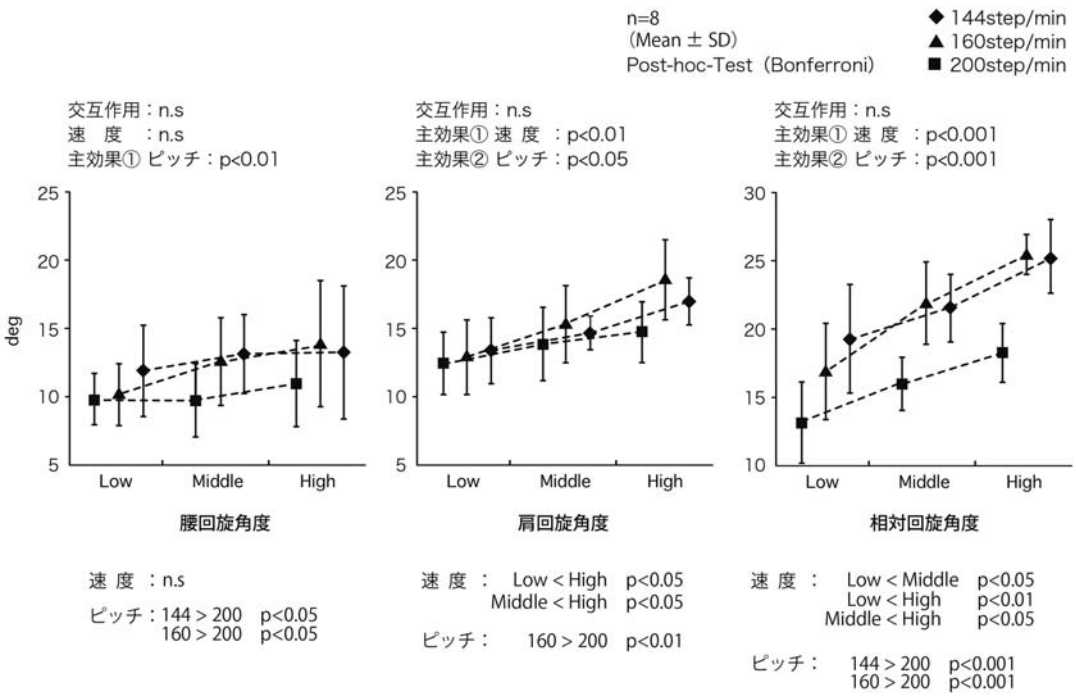


図 4　腰回旋角度，肩回旋角度，相対回旋角度の最大値。各条件間における平均値の比較。

dle, Low＜High, Middle＜High から，速度が小さいと回旋角度は減少した。

本研究の結果から，ピッチが多く，速度が小さい場合に，体幹部の回旋が減少した。体幹部の回旋運動が増大することでより大きな力を生み出すことが考えられるが，大きすぎる回旋運動は走動作を行う上で良くないということが報告されている[3)]。走動作のようなサイクル運動の場合，回旋運動を行うことは直後に逆方向の回旋を行う必要があるため，大きな回旋運動ほど次の運動に切り替わるまでに時間を要することが考えられる。つまり素早く動作を切り替える場合には走行時の体幹の回旋運動は小さくすることに有用であることが推察される。また，体幹部の運動を制限することで，身体の末端部である上肢や下肢の運動も変化することが考えられる。山田ら[12)]が報告しているような，上肢への運動課題を与えた条件などがその具体的な事象であると考えられる。

今回，速度及びピッチを統制した条件下において，体幹部の回旋運動が小さい，ナンバ様な動きが出現することが明らかになった。これらの動きは，方向転換や切り替えを頻繁に行う球技等に応用できると考えられる。

Ⅳ　まとめ

本研究の目的は，映像解析を用いて，速度とピッチを規定した条件下において，体幹部の回旋運動が小さい，ナンバ様な動きが出現するか否かを検討することであった。被験者は健康な成人男性 8 名（年齢 22.6±2.2 歳，身長 172.8±3.9 cm，体重 66.4±6.7 kg）であった。被験者にトレッドミル上で走行をさせ，映像解析を行った。被験者の通常歩行速度の「2 倍（Low）」・「2.5 倍（Middle）」・「3 倍（High）」の 3 つの速度条件を設定した。さらに，各速度条件において，ピッチ（step/min）を「144 step/min」・「160 step/min」・「200 step/min」の 3 つのピッチ条件を設定した。各条件間で，ピッチ（step/min）・ストライド（m/step）・身体重心の上下動（%）・腰回旋角度（deg）・肩回旋角度（deg）・相対回旋角度（deg）を比較した。得られた知見は以下の通りである。

1）ピッチの増大によって身体重心の上下動が小

さくなった。
2）ピッチの増大によって腰の回旋角度は小さくなった。
3）速度の減少とピッチの増大によって肩の回旋角度と相対回旋角度は小さくなった。

以上のことから，速度やピッチを変えることで，重心の上下動や体幹部の回旋運動を変化させ，体幹部の動きの少ない，いわゆるナンバ様な動きになることが示唆された。

引用・参考文献

1）尾懸貢・中野正英（1991）疾走能力に影響を及ぼす動作要因，奈良教育大学紀要，40（2），pp.21-28.
2）伊藤章・市川博啓・斎藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道（1998）100 m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係，体育学研究，43，pp.260-273.
3）小木曽一之（2001）走運動時の体幹の役割，体育の科学，51（6），pp.438-443.
4）広部巌・武藤芳照・宮下充正（1985）角運動量からみた走運動における腕振りの役割，体力科学，34，p.450.
5）Hinrichs RN, Cavanagh PR, Willams KR（1987）Upper extremity function in running. Ⅰ：Center of Mass and Propulsion Considerations, International Journal of Sport Biomechanics，3，pp.222-241.
6）Hinrichs RN（1987）Upper extremity function in running. Ⅱ Angular Momentum Considerations, International Journal of Sport Biomechanics, 3，pp.242-263.
7）伊藤章（1991）走りにおける腕の役割，体育の科学，41, pp.688-692.
8）笠井達哉（1982）走における腕振り動作の効果，国士舘大学体育研究所報，2，pp.61-66
9）田村孝洋・久保田康毅（2004）100 m 走の最高速度局面における腕動作機能，陸上競技研究，59,4，pp.13-19.
10）広田勇夫（1973）走運動における腕振りの研究－心拍数，歩幅，歩数，Time の相関－，神戸学院大学紀要，4，pp.201-215.
11）辻本典央・水藤弘史・新海宏成・布目寛幸・池上康男（2009）腕振りの制約が走動作に及ぼす影響，バイオメカニクス研究，13，pp.38-50.
12）山田洋・今川正浩・内山秀一・大塚隆・小河原慶太・加藤達郎・木村季由・栗山雅倫・小山猛志・高野進・田村修治・藤井壮浩・宮崎彰吾・陸川章（2010）「ナンバ」走法のメカニズムに関するバイオメカニクス的研究－上肢への運動課題が走運動に及ぼす影響－，東海大学紀要（体育学部），40，pp.9-14.
13）甲野善紀，渡会公治（2001）ナンバと身体の使い方，Training Journal, May, pp.12-20
14）甲野善紀（2002）古武術から見た日本人の身体の動きを考える，理学療法学，29,3，pp.94-100.
15）宮崎彰吾・山田洋・小河原慶太・内山秀一（2011）ナンバ様走動作時の体幹部の回旋運動―速度・ピッチの変化の影響―，日本コーチング学会第 22 回大会特別論文集，pp.48-49.
16）阿江通良・湯海鵬・横井孝志（1992）日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定，バイオメカニズム，11，pp.23-33.
17）Wells R and Winter DA（1980）Assessment of signal noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits, human locomotion Ⅰ，pp.92-93.