

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500713

研究課題名(和文) スウィーピング・パフォーマンス評価のためのカーリングブラシの開発と応用

研究課題名(英文) Development and Application of Curling Brush for Evaluating Sweeping Performance

研究代表者

柳 等 (Yanagi, Hitoshi)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：60344553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：カーリングの基本技能の一つにスウィーピング(ストーンが滑る前の氷面をブラシで擦る動作)がある。氷面を解かしてストーンを滑りやすくして、ストーンが目標とする位置に行くようにするためのものだ。よいスウィーピングとは、力強くブラシを動かすことだといわれる。そこで、この研究ではスウィーピング中にどれだけ大きな力が発揮されるのかを調べるカーリングブラシ(測定装置)を開発することにした。この装置を使ってスウィーピング中に発揮される力を調べた結果、その力の大きさは、選手の体格、競技の経験、体力(特に腕の筋力)と関係があることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Sweeping is the action of moving a brush in front of a sliding stone to clean or polish the ice surface in curling. Curlers are often asked to strongly sweep the ice in order to correct the speed or the trajectory of the stone in the games. Therefore we attempted to develop the curling brush for measuring forces exerted during the sweeping. We found that the forces that the curlers could exert during the sweeping were related to their physiques, competitive experiences and physical fitness levels (especially the arm strength).

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：スポーツバイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

カーリングはストーンを氷上の目標の円(ハウス)にめがけて滑らせ、ハウス中心にストーンをより近づけることで得点を競うスポーツである。スウィーピングはカーリングの基本技能の一つで、ストーンが滑る前の氷面をブラシで擦ることである。氷面を解かし、ストーンを滑りやすくすることで、ストーンが目標とする位置に行くようにストーンの色やコースを調整するために行うものである。効果的なスウィーピングの条件とは、「力強く、速く」ブラシを動かすことであるといわれている(小川, 2006)。しかしながら、動作の観察だけでは効果的なスウィーピングかどうかは判断するのは難しい。そこで、「力強さ」として、スウィーピング力(スウィーピング中に氷面に加わる力=ブラシの荷重)を測定することでスウィーピングパフォーマンスを定量・評価することに着想した。スウィーピング力に関する研究は、これまで Marmo ら(2006)、Buckingham ら(2006)が行っているものだけである。これらの研究では古いタイプのカーリングブラシが使用されており、現在主流となっているものとは構造が異なっているため、同様な方法でブラシの荷重を検出することはできない。我々は新しいタイプのブラシを利用して、これまでに比較的簡易な方法でスウィーピング力測定装置を試作した(Yanagi ら, 2008)。実験室実験においてはこの装置でスウィーピング中のブラシへの荷重の検出が可能であることを確かめてきた。この方法ではお過小評価する傾向があることがわかっており、その改善が課題となっている。また、氷上でのスウィーピング力を測定するために操作性を高めることが課題となっている。角度センサや無線測定システムの導入により測定装置を発展させることが必要であった。

2. 研究の目的

(1) 従来のスウィーピング力測定装置の改良および性能評価

我々が開発してきた従来のスウィーピング力測定装置では水平方向の力を過小評価する傾向にあった。測定装置の角度検出に非接触型の角速度センサを導入することで精度を高めることを目指した。全力スウィーピング中にブラシに発揮された力と床反力を比較して、測定ブラシの性能評価を行うことを目的とした。

(2) カーリング選手の体力とスウィーピング力の関係

この研究では、カーリング選手の体力とスウィーピング力の関係を明らかにすることを目指した。カーリング選手のためのコントロールテストの体力指標とスウィーピング力との関係を調べ、カーリングの競技力向上に資するデータを蓄積することを目指した。

(3) 氷上でのスウィーピング力測定を試み

この研究では、無線測定システムを導入して、スウィーピング力測定装置の操作性を高め、氷上でスウィーピング力を測定することを目指した。氷上での測定が可能かどうか、またスウィーピング力のデータによって選手個人のスウィーピングパフォーマンスを客観的に評価できるかどうかを確かめることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 従来のスウィーピング力測定装置の改良および性能評価

カーリング経験者1名と初心者2名が被検者として研究に参加した。身長、体重、年齢の平均値は、それぞれ $1.75\text{m} \pm 0.02\text{m}$ 、 $80 \pm 14\text{kg}$ 、 23 ± 1 歳であった。

スウィーピング力測定装置には、市販のカーリングブラシ(バランスプラス製 Tapered Ultra-light Carbon Fiber Brush)を使用した。単軸箔歪ゲージ(N11-MA-10-1000-11, SHOWA)8枚をブラシシャフト部に貼付した。シャフト軸方向の荷重は対辺4アクティブゲージ法で、シャフト軸に対して直角方向の荷重をアクティブゲージ法で検出した。角速度センサ(CRS07-02S, SILICON SENSING)2個をシャフトに取り付け、シャフトと氷面のなす角度、シャフト軸まわりのロール角を検出した。歪みゲージと角速度センサの出力信号は、A/D変換器(PCD-320A, KYOWA)を介して、200Hzでパーソナルコンピュータ(dynabook MX/2E, TOSHIBA)に記録した。ブラシの角度は測定した各速度の積分から求めた。ブラシに加わる力は、歪みゲージの出力とブラシの角度から、氷面に対して垂直方向の力(FVbrush)と水平方向(FHbrush)の力を求めた。また、スウィーピング中の垂直方向(FVfp)と水平方向(FHfp)の床反力を同時に200Hzで記録した。

被検者はポリプロピレン製シートで覆ったフォースプレート(KYOWA)上でスウィーピング力測定装置を使ったスウィーピングを3試行行った(写真1)。スウィーピング1試行は、その測定装置を拾い上げた後、それを使ってフォースプレート上を全力で約10秒間擦る、というものであった。

力のデータは垂直方向の力の最初のピーク出現から5秒間の平均値を試行ごとに求めた。ブラシに発揮される力、床反力それぞれの5秒間の平均値について、被検者ごとの平均値と標準偏差を求めた。スウィーピング力測定装置で



写真1. フォースプレート上でのスウィーピング力測定

得たデータを検証するために、フォースプレートで得た床反力との関係を調べた。200Hzでサンプルしたデータについて、ブラシに発揮される力と床反力の相関関係を調べた。有意水準を5%未満とした。

(2) カーリング選手の体力とスウィーピング力の関係

被検者は学生カーリング選手男子16名(年齢 20 ± 1 歳,身長 171 ± 6 cm,体重 66 ± 10 kg)と女子5名(年齢 20 ± 1 歳,身長 160 ± 2 cm,体重 56 ± 2 kg)であった。カーリングの経験は1年~10年で,身体トレーニングを継続的に実施しているものであった。

以下のコントロールテストを実施した。

- ・ 上体起こし(30秒間)(文部科学省 新体力テスト)
- ・ 反復横跳び(文部科学省 新体力テスト)
- 20m シャトルラン(文部科学省 新体力テスト)
- ・ 立ち幅跳び(20秒間)(日本体育協会 運動適性テスト)
- ・ 腕立て伏せ(30秒)

30秒間に腕立て伏せを繰り返す回数,腕立ての姿勢から床上に置いた厚さ2cmのクッションにあごが接するまで腕を屈曲し,腕を伸展して再びもとの姿勢に戻るまでを1回の動作として,それを30秒間できるだけ速く反復する。

スウィーピング中の床反力をスウィーピング力として測定した。ポリプロピレン製板で覆ったフォースプレート(KYOWA)上でスウィーピングを全力で約12秒間行なわせ,鉛直成分の床反力を記録し,10秒間の力の平均値を求めた。

スウィーピング力について,平均値と標準偏差を男女別に求めた。スウィーピング力とコントロールテストの各変数との相関係数を調べた。5%水準で有意とした。

(3) 氷上でのスウィーピング力測定の試み

被検者はカーリング選手8名(男子6名,女子2名)であった。カーリングの経験は1~10年であった。

スウィーピング力測定装置には,市販のカーリングブラシ(バランスプラス製,Tapered Ultra-light Carbon Fiber Brush)を使用した。このブラシのブラシヘッド部とブラシシ

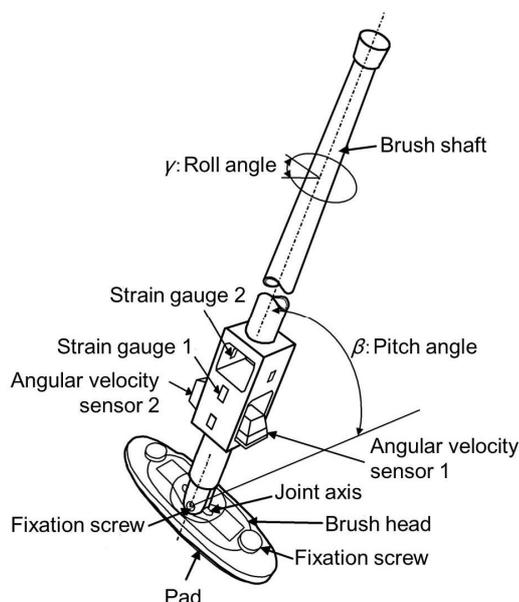


図1. スウィーピング力測定装置。ブラシヘッドとシャフトの間にロードセルが組み込まれている。

ャフト部に間にロードセルを組み込んだ。ブラシシャフト軸方向の荷重は半導体歪ゲージを用いたアクティブダミー法(4ゲージ法)によって,シャフト軸に対して直角方向の荷重は箔ゲージで4アクティブゲージ法によって検出した。歪みゲージで検出された信号はワイヤレス測定システム(マルチテレメータシステムWEB500,日本光電株式会社)の送信機から受信機へ送信され,A/D変換器(PCD-320A,KYOWA)でデジタル化し,200HzでPCに記録した。ブラシシャフト軸方向の力とその直角方向の力の合力を求め,スウィーピング力とした。

実験はカーリング専用リンクで行った(写真2)。被検者は測定装置を使って氷上を滑るストーンの前をスウィーピングした。一試行は10秒間の全力スウィーピングで,3回行った。



写真2. 氷上でのスウィーピング力測定の風景。

表1. 被検者の身体特性。

選手	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	経験(年)	性別
A	20	182	79	10	男子
B	19	175	71	7	男子
C	21	172	58	3	男子
D	20	175	58	2	男子
E	21	168	60	2	男子
F	19	160	59	1	男子
G	23	158	61	5	女子
H	20	156	49	3	女子

各試行の力のデータは、10秒間の平均値として表した。また、力のピーク間の時間をスウィーピングの1ストロークに要する時間と仮定して、スウィーピング速度として1秒あたりのストローク回数を求めた。被検者ごとにスウィーピング力とスウィーピング速度の平均値と標準偏差を求めた。これらの変数について、被検者間の差の検定を行い、5%水準で有意とした。

4. 研究成果

(1) 従来のスウィーピング力測定装置の改良および性能評価

図2に、フォースプレート上でスウィーピング力測定装置を使用して全力スウィーピングを行っているときに発揮された垂直方向および水平方向の力のデータをカーリング経験者と初心者について例示した。

測定装置から得られた力の波形は床反力のもものとほぼ一致していることが見てとれる。垂直方向の力のピークに注目すると、カーリング経験者のデータの方が初心者よりも高いことがわかる。スウィーピング中に発

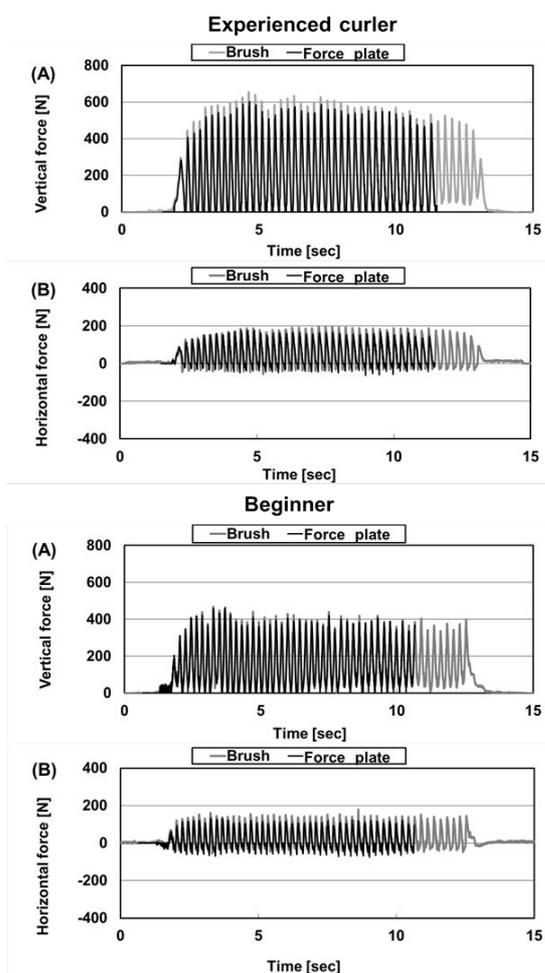


図2. スウィーピング力の生波形. 上段はカーリング経験者, 下段は初心者. (A)は垂直方向の力, (B)は水平方向の力.

表2. スウィーピング中の力の平均値と標準偏差. スウィーピング力測定装置で得た力と床反力の相関係数.

選手	A	B	C	平均値±標準偏差
FV _{brush} (N)	230±15	184±14	140±35	185±38
FV _{fp} (N)	226±16	192±18	144±34	187±37
相関係数	0.989-0.995*	0.988-0.995*	0.985-0.989*	
FH _{brush} (N)	48±1	43±7	24±5	44±12
FH _{fp} (N)	47±4	32±11	16±3	41±15
相関係数	0.934-0.963*	0.945-0.968*	0.912-0.929*	

*: p<0.001

揮される垂直方向の力のデータは、選手個人のスウィーピング・パフォーマンスを知る上で有用な情報となるといえる。この測定装置を利用することで、指導者はスウィーピング・パフォーマンスを客観的に評価し、選手のパフォーマンス向上のためのより効果的なアドバイスを提供できるようになるだろう。

表2には5秒間の力の平均値、測定装置で得た力と床反力との相関係数を示した。垂直方向の力は、測定装置 185±38N、床反力 187±37 で有意な差は見られなかった。水平方向の力は測定装置 38±12N、床反力 37±21N で、これもまた有意な差は見られなかった。測定装置で得た力と床反力の相関係数は、垂直方向、水平方向の力のデータいずれの場合も 0.1%水準で有意であった。測定装置で得られる力のデータは、床反力のデータと一致することが確かめられ、従来の我々の研究データよりも妥当なデータであることが示された。

(2) カーリング選手の体力とスウィーピング力の関係

この研究では、コントロールテストによる体力指標のデータと床反力測定によるスウィーピング力との関係を調べた。

表3にコントロールテストの結果とスウィーピング力の結果を男女の平均値と標準偏差で示した。図に身長および体重とスウィーピング力との関係を示した。

スウィーピング力は身長、体重と有意な相関関係があった(図3)。体重あたりのスウィ

表3. コントロールテストの結果とスウィーピング力. 男女別の平均値±標準偏差.

	男子	女子
年齢(歳)	20±1	20±1
身長(cm)	171±6	160±2
体重(kg)	66±10	56±2
上体起こし(回)	34±5	27±11
腕立て伏せ(回)	39±6	17±8
立ち幅跳び(cm)	230±18	174±21
反復横跳び(回)	63±3	48±5
20mシャトルラン(回)	86±20	53±22
スウィーピング力(N)	237±45	127±41
体重あたりのスウィーピング力(N/kg)	3.6±0.5	2.3±0.8

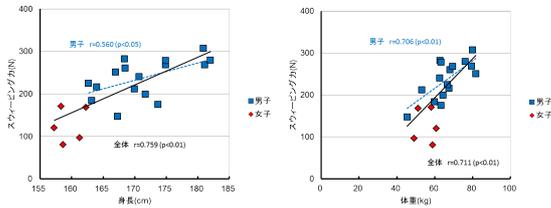


図 3.選手の身長とスウィーピング力との関係(左),体重とスウィーピング力との関係.

表 4.スウィーピング力(体重あたり)と体力指標との相関係数.

	上体起こし	腕立て伏せ	立ち幅跳び	反復横跳び	20mシャトルラン
男子	-0.208	0.489	0.253	0.291	-0.066
女子	0.854	0.968**	0.877	0.566	0.634
全体	0.471*	0.846**	0.758**	0.754**	0.504*

** : p<0.01, * : p<0.05.

ーピング力は男女全体でみるとすべての体力指標と有意な相関関係があった(表4).

これらの結果から,スウィーピング力には,選手の体格や様々な体力要素,特に腕伸展筋力が影響していると示唆され,これらの体力要素の改善を図るトレーニングを実施することによって,スウィーピング・パフォーマンスの向上が期待できる.

(3) 氷上でのスウィーピング力測定の試み

氷上で全力スウィーピングを行ったときのスウィーピング力の波形を図4に例示した.左側カーリング経験2年の選手と右側経験1年の選手のデータである.左右の図のスウィーピング力のピークを見比べると,全体的に左の図の方が高いことが見てとれる.体重はほぼ同じであったが,左側の経験2年の選手の方がより大きなスウィーピング力を発揮しているわけである.

表5に,この研究のスウィーピング力とスウィーピング速度の結果を被検者ごとの平均値と標準偏差としてまとめた.男子選手のスウィーピング力,スウィーピング速度は女子のそれらより有意に高かった.被検者間で比較した場合,体格や経験の違いによって個人間で有意な差が.測定装置を利用することで,氷上においてもスウィーピング・パフォーマンスを客観的に評価でき,カーリングの競技力向上に資する有用なデータを得ることが確認できた.

ところで,この研究では,ブラシシャフトの角度について信頼性あるデータを得ることができなかったため,この研究ではスウィーピング力を合力として表した.ブラシ荷重検出の出力感度の向上を目指して,ロードセル,テレメータシステムの導入した.図の測定装置にも示されているとおり,ロードセルにはブラシシャフト部の角度を測定するための角速度センサが内蔵されていた.これらの測定装置を使用してテレメータシステムを導入して実験を行い,データ解析測定を行

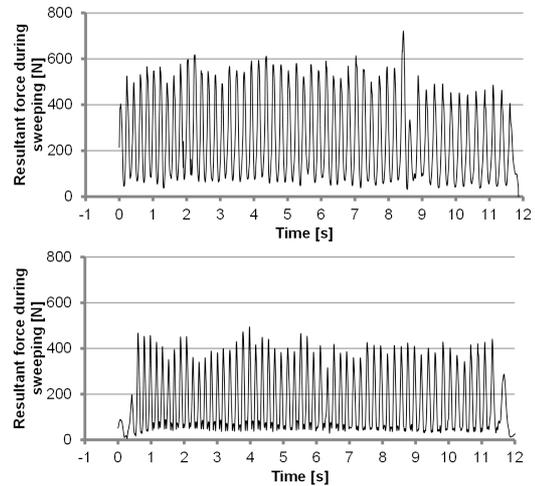


図 4.氷上での全力スウィーピング中に発揮した力(合力)の生波形.カーリング経験2年の選手E(上)と経験1年の選手F(下).

ったところ,データには部分的な欠損が見られることがわかった.データの部分欠損によってブラシシャフト角度算出に誤差が生じ,結果として信頼性のあるスウィーピング力(垂直成分の力と水平成分の力)を求めることができなかった.データ欠損の要因は被検者による電波の遮蔽などが考えられたが,詳細は不明である.この研究の後,測定装置を改良し,Bluetooth小型無線モーションレコーダを導入して,追加実験としてデータ収集を行った.その結果,約50m以内の範囲で比較的安定した送受信が可能であり,受信データにほとんど欠損がないことがわかった.小型無線モーションレコーダに内蔵されるジャイロセンサの出力には若干バイアスする傾向が見られ,今後,角速度の検出精度を確認する必要がある.

表 5.スウィーピング力とスウィーピング速度の結果(平均値±標準偏差).

選手	スウィーピング力 (N)	速度 (Hz)
A	318±9	5.0±0.2
B	223±6	4.0±0.1
C	166±25	4.9±0.1
D	228±8	4.7±0.1
E	256±14	4.6±0.1
F	177±4	5.1±0.1
G	149±6	3.2±0.1
H	118±4	3.8±0.2

有意差: * and **: p<0.05 and p<0.01 (curler A vs others), # and ##: p<0.05 and p<0.01 (B vs C, D, E, F, G, H), !: p<0.01 (C vs D, E, F, G, H), \$\$: p<0.01 (D vs F, G, H), ††: p<0.01 (E vs F, G, H), ‡‡: p<0.01 (F vs G, H), ¶¶: p<0.01 (G vs H).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 0件)

[学会発表](計 3件)

Hitoshi Yanagi, Katsumi Miyakoshi, Noriyuki Yamamoto, Force measurement of sweeping on ice in curling. 2013 ASICS Conference of Science & Medicine in Sport, Supplement to Journal of

Science and Medicine in Sport, p.79, Phuket, 査読有, 2013.

柳 等, 宮越勝美, 山本憲志, カーリング選手のコントロールテストとスウィーピング力測定, 第22回日本バイオメカニクス学会, 札幌市, 査読無, 2012.

Hitoshi Yanagi, Katsumi Miyakoshi, Masatoshi Fukuoka, Noriyuki Yamamoto, Development of curling brush for measuring force exerted during sweeping. The e-Proceedings of the 30th Annual Conference of Biomechanics in Sports, pp.354-356, Melbourne, 査読有, 2012.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称:カーリングブラシ用検出装置,カーリングブラシ及びカーリング用計測ブラシ

発明者:宮越勝美,柳等

権利者:北見工業大学

種類:特許

番号:2013-122225

出願年月日:2013年6月10日

国内外の別:国内

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

柳 等(YANAGI, Hitoshi)

国立大学法人北見工業大学工学部・准教授

研究者番号:60344553

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし