

2 0 1 1 年 度 修 士 論 文

日 本 人 カ ー リ ン グ 選 手 に お け る

膝 関 節 障 害 の 実 態 と そ の 運 動 学 的 要 因

Knee injury and risk factors in curling

早 稲 田 大 学 大 学 院 ス ポ ー ツ 科 学 研 究 科

ス ポ ー ツ 科 学 専 攻 身 体 運 動 科 学 研 究 領 域

5 0 1 0 A 0 6 6 - 1

橋 本 祥 太 朗

Shotaro HASHIMOTO

指 導 教 員 : 矢 内 利 政 教 授

< 目次 >

第 1 章	緒言	1
1-1	序	1
1-2	オーバーユースの定義	3
1-3	本研究の概要	5
第 2 章	カーリングにおける膝関節障害と練習時間，練習日数の関連	6
2-1	目的	6
2-2	方法	7
2-2-1	調査方法	7
2-2-2	対象者	7
2-2-3	調査項目	7
2-2-4	データ分析	11
2-2-5	統計処理	11
2-3	結果	12
2-3-1	カーリングにおける障害発生数	12
2-3-2	カーリングにおける膝関節障害発生数	13
2-3-3	膝関節障害における障害側	14
2-3-4	非利き手側における膝関節障害詳細部位	15
2-3-5	膝関節障害と練習の関連	16
2-3-6	膝関節障害の有無における競技経験年数の違い	18
2-3-7	膝関節障害の有無における年齢の違い	19
2-4	考察	20
2-5	まとめ	23

第 3 章	カーリングにおけるデリバリー動作中の 3 次元膝関節角度・・・	24
3-1	目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	24
3-2	方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	25
3-2-1	対象者・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	25
3-2-2	測定環境・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	25
3-2-3	測定試技・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	25
3-2-4	データ収集・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	26
3-2-5	データ処理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	28
3-2-6	データ分析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	31
3-2-7	統計処理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	32
3-3	結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	33
3-4	考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	35
3-5	まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	39
第 4 章	総括論議・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	40
第 5 章	結論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	42
付録	男子カーリング選手と一版成人男性の膝関節可動域・・・・・・・・	43
参考文献	・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	47
謝辞	・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	51

第 1 章

緒言

1-1 序

カーリングとは，氷上に描かれた的(ハウス)の中に，1 チーム 4 人で 1 人 2 投ずつ，相手チームと交互に円形の花崗岩(ストーン)を投げ入れて点数を競い合う競技である．本邦では 1998 年長野オリンピックで正式種目に採用されて以来，徐々に競技者が増加し，広く知られるようになってきた．また，競技レベルも徐々に向上し，特に女子日本代表は 1998 年長野オリンピックに出場して以来 3 大会連続でオリンピック出場を果たしており，その活躍が注目されている．しかし，本邦において，実業団やプロ選手として活動する者は極めて少なく，大多数がアマチュア選手として活動している．そのため，医療スタッフやトレーナー等を帯同せず，選手個人で情報を得て，独自に障害予防やコンディショニング，トレーニングを実施しているのが現状である．障害予防などを実施する際，医科学的知見を考慮することで効果的に実施できると考えられるが，カーリングに関する医科学的知見を報告したものは非常に少ない．

Reeser & Berg(2004)は全米選手権に出場したカーリング選手 76 名を対象にアンケート調査を実施し，膝関節に障害を抱える選手が多かったと報告している．しかし，この調査は競技レベルの高い少人数の選手を対象に行われており，スポーツとしてカーリングを行う母集団における障害の実態は明らかになっていない．本邦においてはカーリング選

手における膝半月板損傷，膝蓋大腿関節障害，鵞足炎，腸脛靭帯炎の症例が報告されているのみで(高橋 2011)，本邦におけるカーリングに起因する膝関

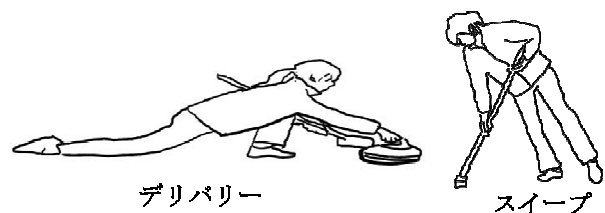


図 1 カーリングで用いられる動作

節障害の実態は明らかではない。

カーリングは氷上にストーンを投げるデリバリーと呼ばれる動作と、投じられたストーンの挙動を調整するスイープと呼ばれる動作で行われ(図 1), 1 試合約 3 時間の間, 選手はこの 2 つの動作のみを繰り返し行っている。つまり, カーリングは同一動作を繰り返す競技であるといえる。同一動作を繰り返す競技において生じる障害に関して, 多くの報告がされており, バレーボール選手はジャンプ動作を繰り返すために, ジャンパー膝と呼ばれる障害が多く生じるといわれている(林ら 1999, 佐藤ら 2005)。水泳において, 一流競泳選手の約 80% が何らかの障害を経験していると報告されており(片山ら 2000), また, 金岡ら(2004)は 40 歳以上の一般選手に対して障害に関するアンケート調査を行い, その結果, 半数以上の選手が既往または障害を有していたと報告している。バレーボールや水泳だけでなく, テニスではテニス肘, 野球では野球肘や野球肩, ランニングではランナー膝など, ある同一動作を繰り返し行う競技では, オーバーユース障害が多く生じるといわれている(武藤 1992, 大久保ら 1991, James et al 1978, Renstrom & Johnson 1985, Wilder et al 2004)。

カーリングはハウスの中心に相手よりも多くのストーンを投げ入れることで得点を得ることが出来るため, 狙うべきところに正確に投げる技術(投球正確度率)が高いチームほど試合に勝利する可能性が高い(増山ら 1993)。そのため, 選手はストーンを投じる技術であるデリバリー動作の練習に多くの時間を費やしている(小川 2006)。デリバリー動作は非利



図 2 デリバリー動作(石を投げる動作)

き手側の股関節と膝関節を大きく屈曲し、利き手側の股関節と膝関節を伸展させ、利き手でストーンを把持し、その姿勢を維持したまま数秒間氷上を滑り、ストーンを投じる動作である(図 2)。デリバリー動作では、つま先を外に向けることが推奨されており(小川 2006)、このとき、股関節は屈曲・外転・外旋、膝関節は屈曲・内反・外旋しているように観察される。一般に、膝関節屈曲を伴う過度な回旋や内外反は膝関節障害の発生要因だと言われている(板倉 2008, Krivickas1997, Noehren2007)ことから、デリバリー動作は膝関節障害の発生要因となる膝関節屈曲を伴う過度な回旋や内外反を含み、そのようなデリバリー動作を練習で長時間、高頻度繰り返すことで膝関節にオーバーユース障害を生じさせると考えられる。

そこで本研究では、カーリングにおける膝関節障害の実態を明らかにし、その要因を検討することを目的とした。

1-2 オーバーユース障害の定義

ジャンプ動作や走動作を繰り返す際は膝関節を繰り返し使用し、クロールなどの泳動作や投球動作では肩関節を使用することから、ある同一動作を繰り返すということは、その動作で用いる部位を繰り返し使用することといえる。そのため、同一動作を繰り返すような競技では、動作で用いる部位を繰り返し使用することで、その部位に疲労が蓄積する、あるいは、筋や腱、靱帯などに軽微な損傷が生じる。この疲労や軽微な損傷の回復には、トレーニング間で少なくとも1日間のインターバルが必要であると言われており(Bishop et al 2011, Baechle & Earle 2002)、トレーニングを少なくとも1日間以上のインターバルを空けずに行い、疲労や軽微な損傷が回復しないうちに、更にその部位を繰り返し使用することで筋や腱、靱帯などが損傷し、オーバーユース障害は引き起こされる(林ら 1999, 佐藤ら 2005, 片山ら 2000, 金岡ら 2004, 武藤 1992, 大

久保ら 1991, James et al 1978, Renstrom & Johnson 1985, Wilder et al 2004).
つまり、オーバーユース障害を引き起こす主な要因は動作を繰り返す時間と頻度であると言える (James et al 1978, Renstrom & Johnson 1985, Wilder et al 2004). O'Toole et al (1989)は一流トライアスロン選手男女 95 名を対象に障害調査を行い、91%の選手がオーバーユース障害の既往を持ち、1 回平均 3.45 時間の練習を平均週 6 日行っていたと報告し、笠次ら (2002)はトライアスロン愛好者男女 64 名を対象に障害調査を行い、52%の選手がオーバーユース障害の既往を持ち、1 回約 2 時間の練習を週 5 日行っていたと報告し、また、石井ら (1997)はトライアスロン選手男女 2423 名を対象に障害調査を行い、61%の選手がオーバーユース障害の既往を持ち、練習を週 4～5 日行っていたと報告している。また、辻ら (1989)は高校陸上選手 61 名を対象に障害調査を行い、1 人あたり 1.01 件の割合でオーバーユース障害が発生し、2～3 時間の練習を週 6 日行っていたと報告している。金岡ら (2004)は平均 54.6 歳の水泳選手を対象に障害調査を行い、52%の選手がオーバーユース障害の既往を持ち、1 回平均 1.16 時間の練習を 1 週平均 3.6 回行っていたと報告している。これらのことから、少なくとも 1 回 2 時間以上の練習を週 4 日以上行くと、オーバーユース障害が生じる可能性が高いと考えられる。これは、疲労や軽微な損傷の回復に必要とされる 1 日間以上のインターバルがとられておらず、オーバーユース障害を引き起こす要因と一致する。そこで、本研究で我々は、1 回 2 時間以上の練習を週 4 日以上継続的に行う選手に生じる障害をオーバーユース障害と定義した。

1-3 本研究の概要

本研究の目的はカーリングにおける膝関節障害の実態を明らかにし、その要因を検討することである。そのために、第2章では膝関節障害の実態を調査し、膝関節障害を引き起こす要因はオーバーユースであるか否かを検討し、第3章では膝関節障害を引き起こす運動学的要因を検討した。各章の概要を以下に示す。

(1)カーリングにおける膝関節障害と練習時間、練習日数の関連(第2章)

カーリングにおける膝関節障害発生数を明らかにするために、本邦のカーリング選手を対象に障害調査を行い、得られた回答から膝関節障害発生数を算出し、膝関節障害の有無における練習時間、練習日数の違いを χ^2 検定で検討した。

(2)カーリングにおけるデリバリー動作中の3次元膝関節角度(第3章)

デリバリー動作中の膝関節角度を明らかにするために、カーリング選手を対象にデリバリー動作を行わせ、その時の膝関節角度を計測した。得られた膝関節角度から、膝関節障害となり得るような過度な回旋や内外反が含まれるかを検討した。

第 2 章

カーリングにおける膝関節障害と練習時間，練習日数の関連

2-1 目的

Reeser & Berg(2004)はカーリングには膝関節障害が多いと報告しているが，この報告は競技レベルの高い少人数の選手を対象に行われたものであり，スポーツとしてカーリングを行う母集団における膝関節障害の実態を明らかにしていない．また，本邦においても膝関節障害が多く発生しているか，その実態も明らかではない．

カーリングは狙うべきところに正確に投げる技術(投球正確度率)が高いチームほど試合に勝利する可能性が高いと報告されているため(増山ら 1993)，デリバリー動作と呼ばれる，非利き手側の膝関節を大きく屈曲し，その姿勢を維持したまま数秒間氷上を滑り，ストーンを投じる動作(図 2)の練習に多くの時間を費やす(小川 2006)．同一動作を繰り返し行う競技では，その動作で用いる部位を繰り返し使用することでその部位が疲労し，その疲労が回復しないうちに更にその部位を繰り返し使用することで靱帯や腱などが損傷するオーバーユース障害が多く生じるといわれている(武藤 1992，大久保ら 1991，James et al 1978，Renstrom & Johnson 1985，Wilder et al 2004)．このことから，カーリングでは，デリバリー動作を長時間，高頻度で練習することで，膝関節にオーバーユース障害が多く発生する可能性が考えられる．

そこで本章では，カーリングにおける膝関節障害発生数を明らかにし，膝関節障害の有無における練習時間，練習日数の違いを検討することを目的とした．

2-2 方法

2-2-1 調査方法

インターネット上に質問紙を記載し，対象者に質問紙(図 3)が記載されているインターネットサイトへアクセスしてもらい，回答を得た．なお，障害が複数生じていた場合は，障害の数だけ複数回回答させた．調査期間は 2011 年 8 月 3 日から 2011 年 9 月 3 日の 1 ヶ月間とした．対象者にはインターネット上に記載された調査説明文書を熟読するよう指示し，調査に回答することで本調査への同意を得たものとした．本調査を行なうに際し，早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得た．

2-2-1 対象者

質問紙が記載されたインターネットサイトの URL が記載された葉書を日本カーリング協会に選手登録を行っている 16 歳以上の選手全員(2299 名)に送付することで調査への回答を依頼し，回答の得られた 416 名(回答率 18.1%，男性 325 名，女性 91 名，年齢 40.0 ± 13.0 歳，競技経験年数 10.2 ± 8.0 年)を対象者とした．

2-2-3 調査項目

(1) 2010 年シーズン中に生じた障害部位(現在の障害)

2010 年シーズン中に練習や試合に影響を及ぼすほどの痛み(障害)があった部位を選択させた．選択肢は首・頸部，背中，腰部，肩，肘，手首，股関節，膝，足首，その他とした．

(2) 現在の障害部位の詳細

2010 年シーズン中に練習や試合に影響を及ぼすほどの痛み(障害)があった部位に関して、障害側や障害が生じていた部位の具体的な場所(回答例：膝の左の内側、膝の左の膝蓋骨の少し上)と、診断がついた場合、診断名を対象者に自由に記述させた。

(3) 過去に生じた障害部位(過去の障害)

2010 年シーズン以前に練習や試合に影響を及ぼすほどの痛み(障害)があった部位を選択させた。選択肢は、首・頸部、背中、腰部、肩、肘、手首、股関節、膝、足首、その他とした。

(4) 過去の障害部位の詳細

2010 年シーズン以前に練習や試合に影響を及ぼすほどの痛み(障害)があった部位に関して、障害側や障害が生じていた部位の具体的な場所(回答例：膝の左の内側、膝の左の膝蓋骨の少し上)と、診断がついた場合、診断名を対象者に自由に記述させた。

(5) シーズン中の 1 回あたりの平均練習時間

シーズン中における、1 回あたりの平均練習時間を選択させた。選択肢は、30 分未満、30 分以上 1 時間未満、1 時間以上 2 時間未満、2 時間以上 3 時間未満、3 時間以上とした。

(6) シーズン中の 1 週間あたりの練習日数

シーズン中における，1 週間あたりの練習日数を選択させた．選択肢は，週 0 日，週 1 日，週 2 日，週 3 日，週 4 日，週 5 日，週 6 日，週 7 日とした．

(7) 過去の障害が生じていた際の 1 回あたりの平均練習時間

過去の障害が生じていた際の，1 回あたりの平均練習時間を選択させた．選択肢は，30 分未満，30 分以上 1 時間未満，1 時間以上 2 時間未満，2 時間以上 3 時間未満，3 時間以上とした．

(8) 過去の障害が生じていた際の 1 週間あたりの練習日数

過去の障害が生じていた際の，1 週間あたりの練習日数を選択させた．選択肢は，週 0 日，週 1 日，週 2 日，週 3 日，週 4 日，週 5 日，週 6 日，週 7 日とした．

カーリング競技における障害調査

本アンケートは、カーリング競技における障害発生の有無を明らかにすることを目的に行っています。
尚、回答をいただくことで、本研究への同意を得たものと致しますので、御了承ください。
御協力、お願い申し上げます。

問1 性別はどちらですか？
☐ 男性 ☐ 女性

問2 年齢を記入してください。

問3 カーリング経験年数を記入してください。

問4 シーズン中、練習は週何日実施していますか？

問5 シーズン中、1回の平均練習時間はどれくらいですか？

問6 練習は年間何ヶ月実施していますか？

問7 主なポジションはどこですか？
☐ スキップ ☐ バイススキップ ☐ スイーパー

問8 利き腕は(ストーンを持つ側)はどちらですか？
☐ 右側 ☐ 左側

問9 得意なスイング動作はどちらですか？
☐ クローズ ☐ オープン

問10 カーリング以外で定期的に実施しているスポーツはありますか？
 ある場合は、以下に種目と頻度を記入してください。
 例：サッカー 週3日 競技経験は10年

問11 平成22年シーズン中に、練習や試合に影響を及ぼすほどの痛みはありましたか？
☐ はい ☐ いいえ

問11で「はい」と答えた方は、以下の質問にお答えください。
 問11で「いいえ」と答えた方は、問17にお進みください。

問12 問11で「はい」と答えた方にお聞きます。
 診断名が分かれば、ご記入ください。

問13 問11で「はい」と答えた方にお聞きます。
 痛む部位はどこでしたか？
 1つだけお選びください。

問14 問11で「はい」と答えた方にお聞きます。
 問13で選択した部位の具体的な場所を記入してください。
 例：問13で膝と答えた場合、「左の内側」

問15 問11で「はい」と答えた方にお聞きます。
 痛みはどのくらいの期間続きましたか？

問16 問11で「はい」と答えた方にお聞きます。
 痛みはどのように対処しましたか？

問17 過去に練習や試合に影響を及ぼすほどの痛みはありましたか？
☐ はい ☐ いいえ

問17で「はい」と答えた方は、以下の質問にお答えください。
 問17で「いいえ」と答えた方は、ページ一番下に移動し、「回答する」ボタンをクリックしてください。

問18 問17で「はい」と答えた方にお聞きます。
 診断名が分かれば、ご記入ください。

問19 問17で「はい」と答えた方にお聞きます。
 痛む部位はどこでしたか？
 1つだけお選びください。

問20 問17で「はい」と答えた方にお聞きます。
 問19で選択した部位の具体的な場所を記入してください。
 例：問19で膝と答えた場合、「左の内側」

問21 問17で「はい」と答えた方にお聞きます。
 痛みはどのくらいの期間続きましたか？

問22 問17で「はい」と答えた方にお聞きます。
 痛みはどのように対処しましたか？

問23 問17で「はい」と答えた方にお聞きます。
 痛みがあった際、練習は週何日実施していましたか？

問24 問17で「はい」と答えた方にお聞きます。
 痛みがあった際、1回の平均練習時間はどれくらいでしたか？

問25 問17で「はい」と答えた方にお聞きます。
 痛みがあった際、練習は年間何ヶ月実施していましたか？

アンケートは以上です。
 下の「回答する」ボタンをクリックしてください。
 御協力、誠にありがとうございました。

図 3 質問紙

2-2-4 データ分析

(1) 1人あたりの障害発生数・膝関節障害発生数

現在の障害数と過去の障害数を集計した。1人あたりの障害発生数は、現在の障害数と過去の障害数を合計し、対象者416名で除して算出した。1人あたりの膝関節障害発生数も同様に算出した。

$$\text{1人あたりの障害発生数} = \frac{(\text{現在の障害数} + \text{過去の障害数})}{\text{対象者数}}$$

(2) 膝関節障害における障害側

障害の具体的な場所を問う項目において、2010年シーズン中あるいはそれ以前に膝関節に障害を生じていた者が自由に記述した回答を、利き手側・非利き手側に分類し、集計した。

(3) 膝関節障害詳細部位

障害の具体的な場所を問う項目において、2010年シーズン中あるいはそれ以前に膝関節に障害を有していた者が自由に記述した回答を、膝蓋骨近位端より頭部側(上部)、膝蓋骨尖より足部側(下部)、膝蓋骨内側端より内側(内側)、膝蓋骨外側端より外側(外側)、膝蓋骨中央付近(中央)、膝裏の計6ヶ所に分類(図4)し、集計した。

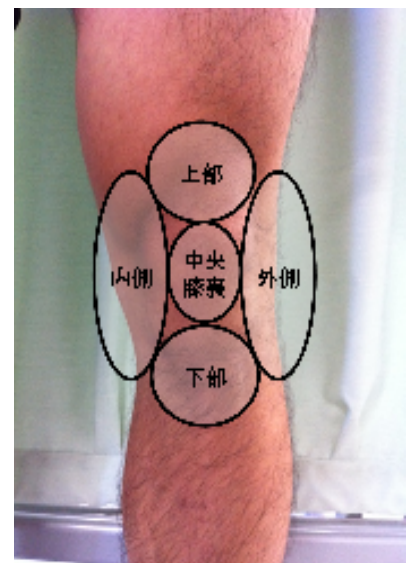


図4 左膝関節を正面から見た図

2-2-5 統計処理

膝関節障害の有無における1回あたりの練習時間、1週間あたりの練習日数の違いを、 χ^2 検定を用いて検討した。また、膝関節障害の有無における競技経験年数、年齢の違いを対応のないt検定を用いて検討した。検定における有

意水準は，第 1 種の過誤が生じる確率を小さくするために先行研究(金岡ら 2004)にならい，1%とした．統計処理には，統計解析ソフト(SPSS 12.0J for Windows)を用いた．

2-3 結果

2-3-1 カーリングにおける障害発生数

2010 年シーズン以前に障害の既往を有した選手は 157 名(37.7%)であり，2010 年シーズンに障害を有していた選手は 110 名(26.4%)であった(表 1)．そのうち，2010 年シーズン以前に障害の既往があり，かつ 2010 年シーズンに障害を有していた選手は 65 名(16.5%)であり，2010 年シーズン以前に障害の既往があるが，2010 年シーズンに障害がなかった選手は 92 名(22.1%)，2010 年シーズン以前に障害の既往はないが，2010 年シーズンに障害を有していた選手は 45 名(10.8%)，2010 年シーズン以前に障害の既往も 2010 年シーズンにも障害がなかった選手は 214 名(51.4%)であった．1 人あたりの障害発生数は 0.64 件であった．

表 1 現在と過去の障害発生数
n=416

障害発生数	(件)
現在の障害	157
過去の障害	110
障害なし	214

現在の障害と過去の障害

両方有している者は 65 名．

2-3-2 カーリングにおける膝関節障害発生数

2010年シーズンの膝関節障害発生数は40件であり，過去の膝関節障害発生数は68件であり，計108件であった．1人あたりの膝関節障害発生数は0.26件であった．膝関節障害発生数は障害発生数の40.4%を占め，他部位に比べて最も高い割合であった(図5)．また，膝関節障害において，診断名がついたものは半月板損傷6件，膝関節炎9件，内側側副靱帯損傷1件であった．

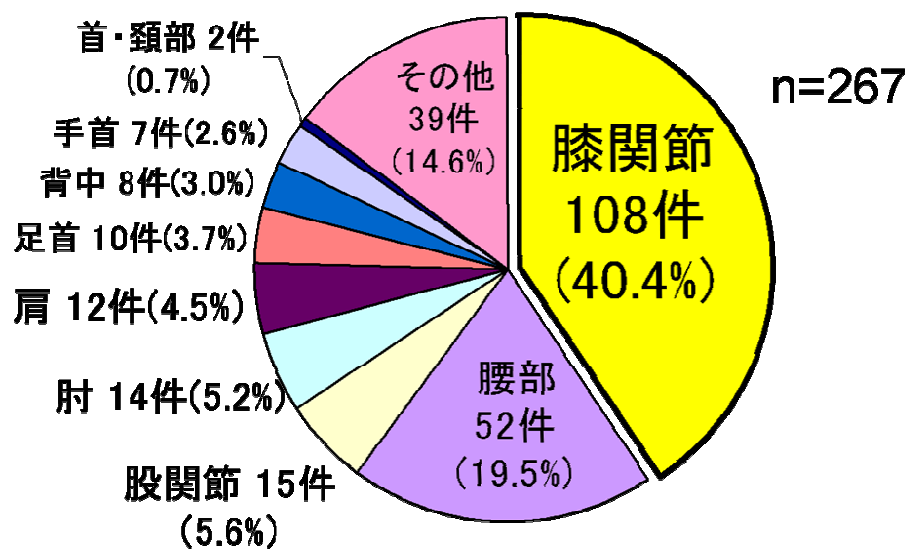


図5 障害部位別内訳

2-3-3 膝関節障害における障害側

膝関節に障害を生じた 108 件のうち、72 件(66.7%)が非利き手側であり、25 件(23.1%)が利き手側であった(図 6)。11 件は対象者が障害側を記述していなかったため、分類することができなかった。

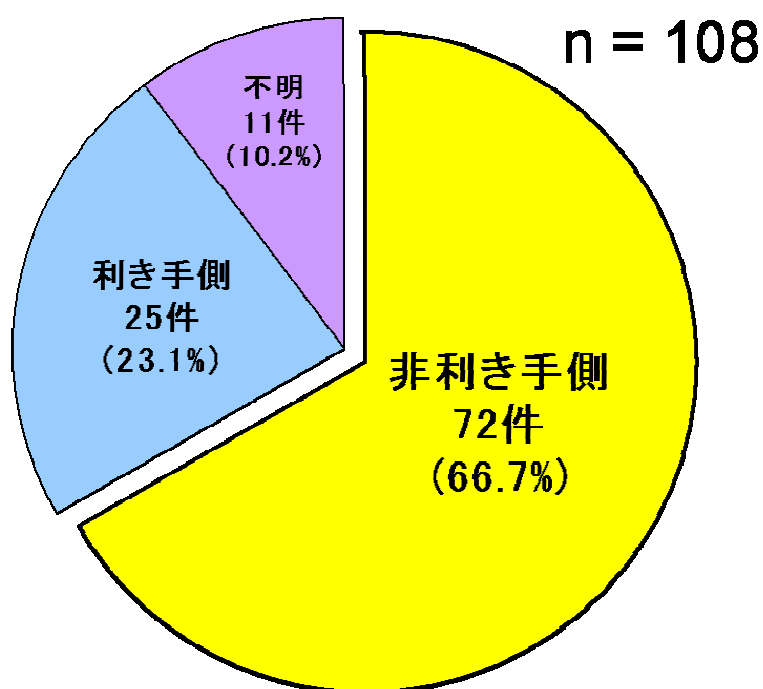


図 6 膝関節障害における障害側

2-3-4 非利き手側における膝関節障害詳細部位

非利き手側に膝関節障害を生じた 72 件のうち、内側 36 件(50.0%)、下部 6 件(8.3%)、中央 4 件(5.6%)、外側 3 件(4.2%)、上部 2 件(2.8%)、膝裏 2 件(2.8%)であった(図 7)。18 件は対象者が詳細部位を記述していなかったため、分類することができなかった。

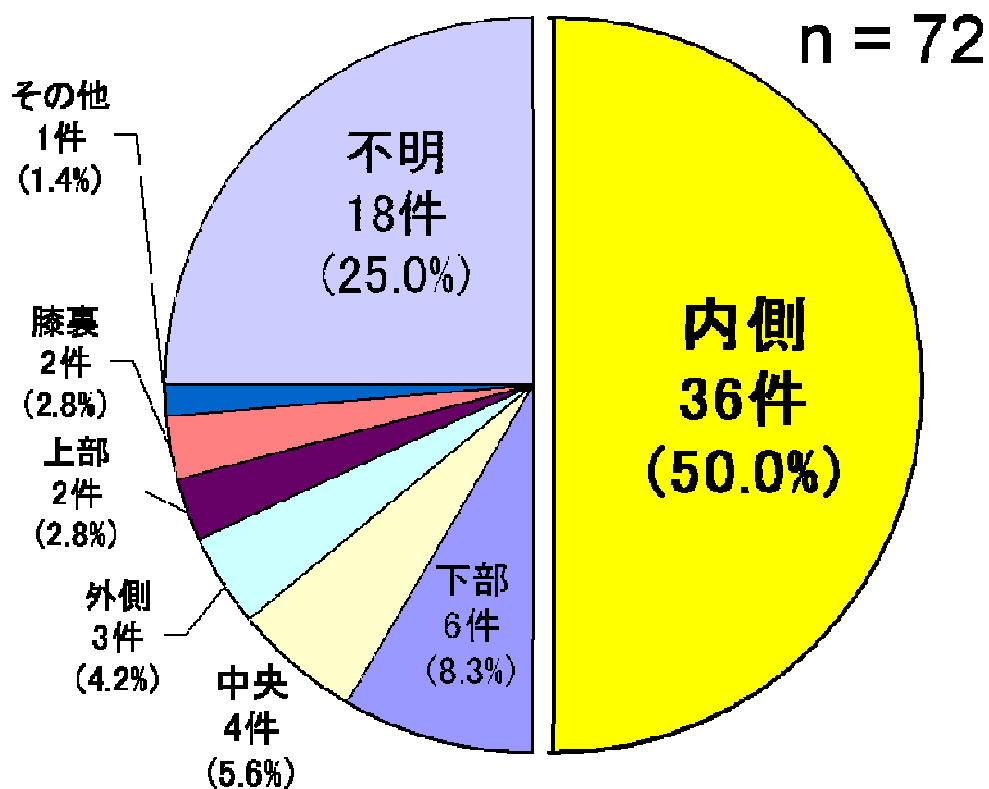


図 7 非利き手側における膝関節障害詳細部位

2-3-5 膝関節障害と練習の関連

(1) 1回あたりの練習時間

回答の得られた 416 名の 1 回あたりの練習時間は、30 分未満 25 件(6.0%)、30 分以上 1 時間未満 36 件(8.7%)、1 時間以上 2 時間未満 199 件(47.8%)、2 時間以上 3 時間未満 138 件(33.2%)、3 時間以上 18 件(4.3%)であり、練習を 1 時間以上 2 時間未満行っている選手が最も多かった。膝関節障害を生じた 108 名の 1 回あたりの練習時間の割合は、30 分未満 14.8%、30 分以上 1 時間未満 12.0%、1 時間以上 2 時間未満 37.0%、2 時間以上 3 時間未満 29.6%、3 時間以上 6.5%であり、膝関節障害を生じていない 214 名の 1 回あたりの練習時間の割合は、30 分未満 7.0%、30 分以上 1 時間未満 7.5%、1 時間以上 2 時間未満 46.7%、2 時間以上 3 時間未満 33.6%、3 時間以上 5.1%であった(図 8)。膝関節障害の有無による 1 回あたりの練習時間の違いを検討したところ、有意な差は認められなかった。

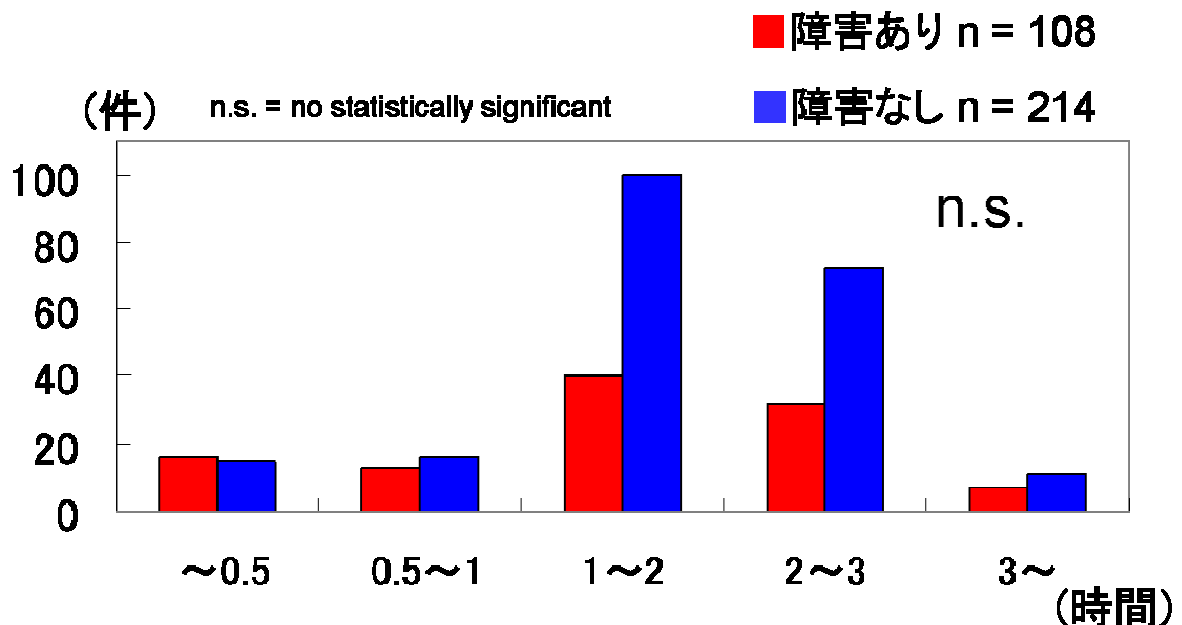


図 8 1 回あたりの練習時間

(2) 1週間あたりの練習日数

回答の得られた 416 名の 1 週間あたりの練習日数は，0 日 74 件(17.8%)，1 日 194 件(46.6%)，2 日 97 件(23.3%)，3 日 28 件(6.7%)，4 日 5 件(1.2%)，5 日 10 件(2.4%)，6 日 3 件(0.7%)，7 日 5 件(1.2%)であり，練習を週 1 日行っている選手が最も多かった．膝関節障害を生じた 108 名の 1 週間あたりの練習日数の割合は，0 日 25.0%，1 日 42.6%，2 日 15.7%，3 日 5.6%，4 日 1.9%，5 日 4.6%，6 日 0.9%，7 日 3.7%であり，膝関節障害を生じていない 214 名の 1 週間あたりの練習日数の割合は，0 日 17.6%，1 日 47.2%，2 日 28.0%，3 日 3.3%，4 日 0.9%，5 日 1.4%，6 日 0.5%，7 日 0.9%であった(図 9)．膝関節障害の有無による 1 週間あたりの練習日数の違いを検討したところ，有意な差は認められなかった．

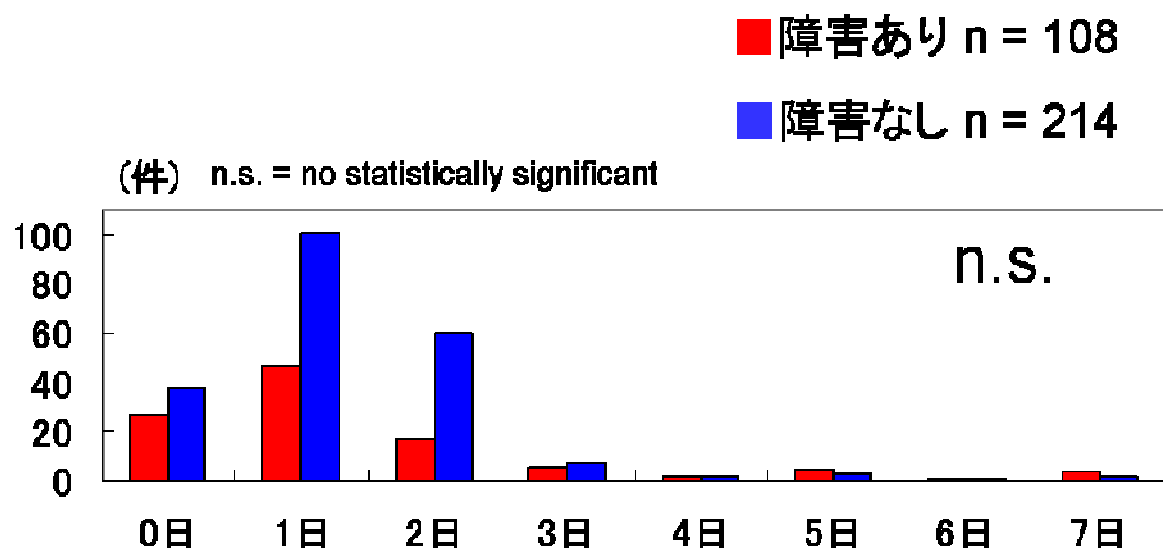


図 9 1 週間あたりの練習日数

2-3-6 膝関節障害の有無における競技経験年数の違い

膝関節障害の有無における競技経験年数の違いをt検定で検討したところ、両者に有意な差が認められ、膝関節障害が生じていた者は、生じていない者に比べて競技経験年数が長いことが示された(表2)。図10は競技経験年数別における膝関節障害発生率を示す。

表2 障害の有無における競技経験年数の違い

競技経験年数	平均±標準偏差	
障害あり	12.3±8.1	* }
障害なし	9.6±8.4	

*: p < 0.01

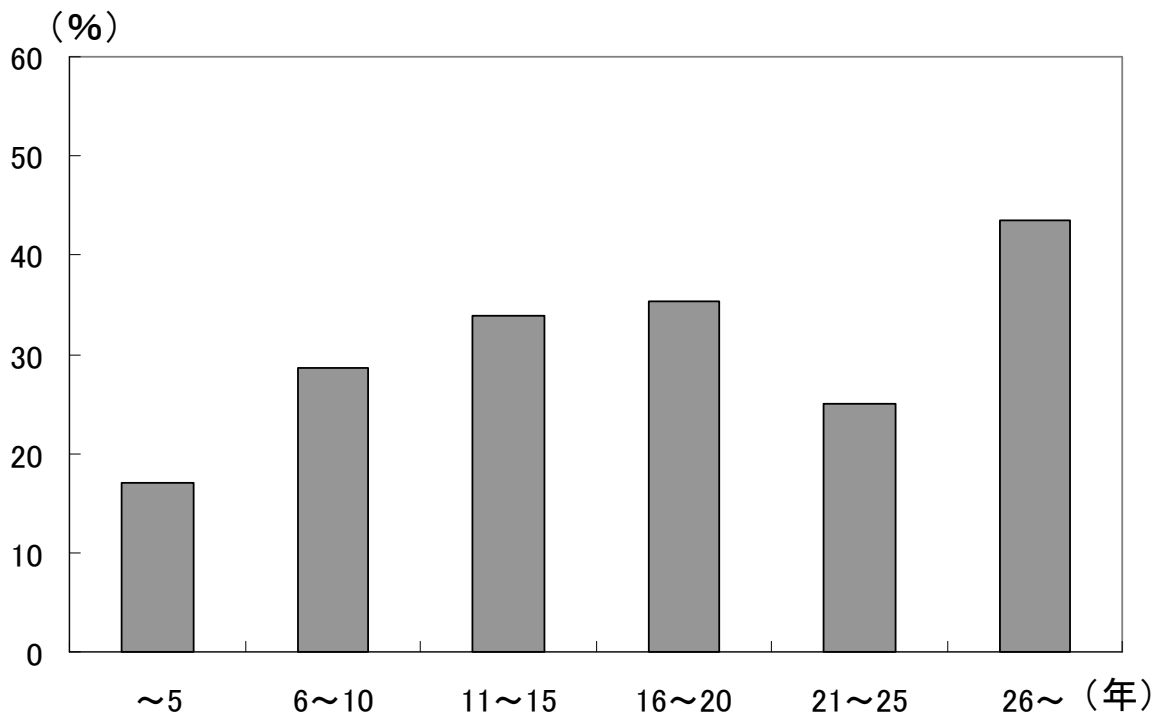


図10 競技経験年数別膝関節障害発生率

2-3-7 膝関節障害の有無における年齢の違い

膝関節障害の有無における年齢の違いを t 検定で検討したところ，両者に有意な差は認められなかった(表 3). 図 11 は年齢別における膝関節障害発生率を示す.

表 3 障害の有無における年齢の違い

年齢	平均±標準偏差	n.s.
障害あり	41.6±13.4	
障害なし	40.1±13.3	

n.s. : no statistically significant

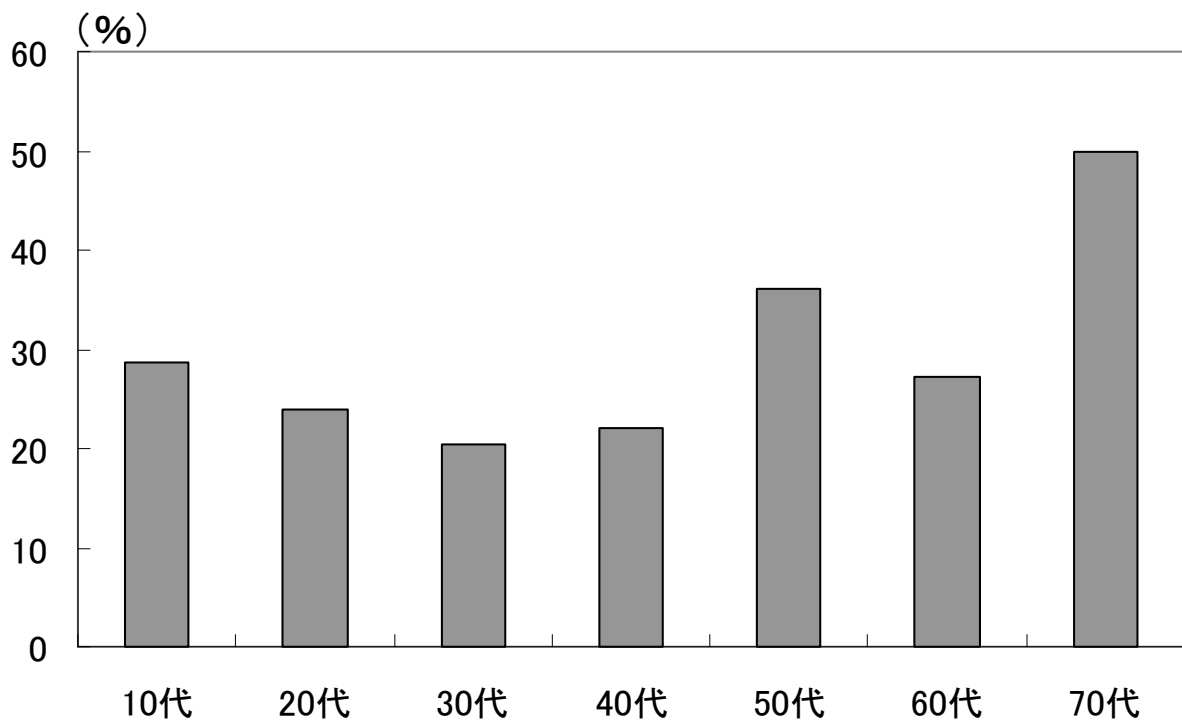


図 11 年齢別膝関節障害発生率

2-4 考察

本調査では、416名の回答から、カーリングでは1人あたり0.64件の割合で何らかの障害が発生していることが明らかになった。また、カーリングにおける障害のうち40.4%が膝関節に生じており、他部位に比べ最も多く、1人あたり0.26件の割合で発生していることが明らかになった。このことから、本邦のカーリングにおける障害も、米国と同様に膝関節に最も多く発生していることが示された。カーリングに関する障害調査は非常に少なく、唯一実施された調査は高い競技レベルの少数の選手を対象に行われたもので、本章で得られた結果は、スポーツとしてカーリングを行う母集団における大多数の選手を対象にしたことにより、カーリングにおける障害の実態を把握する重要な知見であるといえる。

本研究の結果と Reeser & Berg(2004)が報告した結果が一致していることから、カーリングには膝関節障害が多く発生するといえる。しかし、本調査で明らかになった1人あたりの膝関節障害発生数は米国の約半数であった。Reeser & Berg(2004)の対象者の平均競技経験年数は20.4年であるのに対して、本章の対象者の平均競技経験年数は10.2年であった。本章において、膝関節障害の有無による競技経験年数と年齢の違いを検討したところ、競技経験年数において膝関節障害の有無による有意な差が認められ、一方、年齢において膝関節障害の有無による有意な差が認められなかった。つまり、膝関節障害が生じている選手は、生じていない選手に比べて競技経験年数が長いことが特徴の1つであると考えられる。また、Reeser & Berg(2004)は全米選手権に出場した競技レベルの高い選手を対象としているのに対して、本章では本邦の日本カーリング協会に所属するカーリング選手全員に回答の依頼をしている。岩本ら(2011)は大学・高校テニス選手を対象に障害調査を行い、競技レベルの高い選手は低い選手に比べ、障害を抱える選手が多いと報告している。これらのことから、

本調査と先行研究(Reeser & Berg 2004)の間における 1 人あたりの膝関節障害発生数の違いは，対象者の競技経験年数の違いに加え，競技レベルの違いも要因の 1 つだと考えられる．

膝関節障害を生じていた選手と障害を生じていない選手の間に 1 回あたりの練習時間，1 週間あたりの練習日数の違いは認められず，カーリング選手の 1 回あたりの練習時間は 1～2 時間であり，1 週間あたりの練習日数は 1 日であった．辻ら(1989)は高校陸上競技選手 88 名を対象に障害調査を行い，その結果，1 回あたりの練習時間は 2～3 時間，1 週間あたりの練習日数は 6 日，膝関節障害発生数は 1 人あたり 0.24 件であったと報告している．本章の結果と比べると，1 回あたりの練習時間，1 週間あたりの練習日数は高校生陸上競技選手より本研究の対象者の方が少ないにも関わらず，膝関節障害発生数は同程度であった．腱・靱帯などの生体軟組織のオーバーユース障害は，同一動作を長時間繰り返し行うことで，その動作で用いる部位が軽微な損傷あるいは疲労し，その軽微な損傷や疲労が回復しないうちに更にその部位を繰り返し使用することで靱帯や腱などが損傷することで発生する(武藤 1992，大久保ら 1991，James et al 1978，Renstrom & Johnson 1985，Wilder et al 2004)ため，本章で我々は，オーバーユース障害を 1 回 2 時間以上の練習を週 4 日以上行う選手に生じる障害と定義したが，1 回あたりの練習時間が 1～2 時間で，1 週間あたりの練習日数が 1 日であったという結果は基準を越えるものではなく，また，軽微な損傷や疲労からの十分な回復をみこめるインターバルがある．そのため，カーリング選手に多く生じる膝関節障害はオーバーユース障害であるとは考えにくい．

カーリングにおける膝関節障害は非利き手側の内側に最も多く生じており，これはカーリングの膝関節障害の大きな特徴であるといえる．膝関節内側には内側側副靱帯，内側半月板，縫工筋・薄筋・半腱様筋によって形成される鷲足

腱などが存在することから、カーリングにおける膝関節障害はこれらの構造物の損傷が疑われる。内側側副靱帯は三角形をした扁平な靱帯であり、大腿骨内側上顆と脛骨を結合する。膝関節を伸展、外反、内旋させると緊張するため、大きく外反することで損傷し、損傷すると内側に痛みが現れる(鳥巢&国分 2005)。内側半月板は大腿骨内側顆と脛骨内側上顆の間に存在する円板状の線維性軟骨であり、脛骨大腿関節間にかかる圧力を減少させる機能を持つ。内側半月板は 1)荷重した状態で屈曲した膝関節に過度な回旋が加わること(鳥巢&国分 2005)、2)内旋・内反によって内側半月板後方の圧力が大きくなること、3)外旋・内反によって内側半月板全体の圧力が大きくなること(Escamilla 2001, 中嶋ら 2006)で損傷する。その結果として、膝関節内側に痛みが現れる。鵞足腱は脛骨上部内側面に付着している。鵞足腱は膝関節が外旋、外反すると伸張されるため、過度な外旋や外反が起こると損傷する。カーリングは相手選手との接触がなく、また、プレー中に自重以上の荷重が瞬時に膝関節に加わっているような動作を伴わないことから、膝関節に大きな力が急激に加わることによってこれらの組織を損傷するとは考えにくく、膝関節障害が特徴的に非利き手側に生じる要因とも考えにくい。選手はデリバリー動作中、非利き手側の膝関節を大きく屈曲した姿勢を維持したまま、氷上を約 20m 滑り続ける。この時、つま先を外に向けることが推奨されており(小川 2006)、膝関節は外旋、内反しているように観察され、一方、利き手側の膝関節は軽度屈曲位、内外旋中間位、内外反中間位となっているように観察される。このデリバリー動作中の非利き手側の膝関節屈曲、外旋、内反の動きは内側半月板を損傷させる動きに近く、本章の結果でも半月板損傷が 6 件みられた。半月板には血管が非常に少ないため代謝が低く、微細な損傷からの回復も遅いことから、週 1 日程度の練習でも半月板損傷が生じると考えられる。また、障害を有していた選手は障害を有していない選手より競技経験年数が長い。これらのことから、カーリングにおい

て非利き手側の内側に多く生じる膝関節障害は，デリバリー動作を長年にわたり繰り返し行うことに起因する内側半月板損傷である可能性が考えられる．

2-5 まとめ

本章ではカーリングにおける膝関節障害発生数を明らかにし，膝関節障害の有無における練習時間，練習日数の違いを検討することを目的に，日本カーリング協会に所属する 16 歳以上の選手全員を対象に障害調査を行った．その結果，カーリングにおいて生じる膝関節障害は全体の 40.4%を占め，1 人あたり 0.26 件の割合で発生し，特に，非利き手側の内側に多く発生していることが明らかになった．また，膝関節障害の有無における練習時間，練習日数に違いはなく，カーリング選手は 1 回あたり 1～2 時間の練習を週 1 日行っていることが明らかになり，カーリング選手に発生する膝関節障害は靱帯や腱などの軟部組織の微細な損傷が蓄積したオーバーユース障害とは考えにくいことが示された．

第 3 章

カーリングにおけるデリバリー動作中の 3 次元膝関節角度

3-1 目的

Reeser & Berg(2004)はカーリングには膝関節障害が多いと報告している。また、第 2 章において、カーリングには非利き手側の内側に膝関節障害が多く発生し、この膝関節障害は練習を長時間、高頻度繰り返すことによって生じる靱帯や腱などの軟部組織の微細な損傷が蓄積したオーバーユース障害とは考えにくいことが示された。しかし、カーリングにおける膝関節障害を生じさせる要因は明らかにされていない。

障害を引き起こす要因の 1 つとして、各競技における動作の技術的問題が挙げられている(Renstrom and Johnson 1985, 近ら 2005, Huang et al 2010)。カーリングにおけるデリバリー動作は、非利き手側の膝関節を大きく屈曲し、つま先を外に向けることが推奨されており(小川 2006)、このとき非利き手側の膝関節は外旋、内反しているように観察される。大腿骨内側顆と脛骨内側上顆の間に存在する内側半月板は、1)荷重した状態で屈曲した膝関節に過度な回旋が加わること(鳥巢&国分 2005)、2)外旋・内反によって内側半月板の圧力が大きくなること(Escamilla 2001, 中嶋ら 2006)で損傷し、膝関節内側に痛みが現れる。また、第 2 章において障害を有していた選手は障害を有していない選手より競技経験年数が長いことが明らかになった。これらのことから、カーリングにおいて非利き手側の内側に膝関節障害が多く生じる要因は、デリバリー動作を長年にわたり繰り返し行うことであると考えられる。しかし、デリバリー動作中の膝関節の動きを計測した報告はされておらず、デリバリー動作中の膝関節の動きが膝関節障害を引き起こす要因の 1 つであるかは明らかではない。そこで本章では、デリバリー動作中における非利き手側の膝関節角度を明らか

にし，膝関節障害となり得る要因を検討することを目的とした．

3-2 方法

3-2-1 対象者

対象者は，日本カーリング協会に登録をしている，競技経験年数 3 年以上の男子カーリング選手 13 名(年齢 24.4 ± 4.5 歳，競技経験年数 8.9 ± 4.1 年，身長 1.70 ± 0.1 m，体重 65.0 ± 8.3 kg)とした．対象者の利き手は右側 12 名，左側 1 名であった．対象者には本研究の目的と内容について十分に説明を行い，参加の同意を書面にて得た．本研究を行なうに際し，早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得た．

3-2-2 測定環境

測定は対象者が普段の練習で使用しているカーリング場(図 12)で行った．カーリング場内の床面は氷張りであり，シートと呼ばれる長さ 44.5m，幅 4.75m のエリアに分かれている．測定はそのうちの 1 シートを使用した．

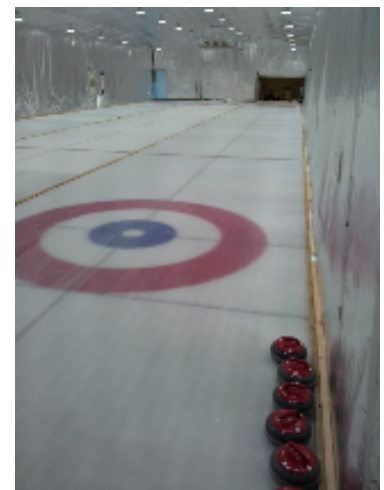


図 12 カーリング場

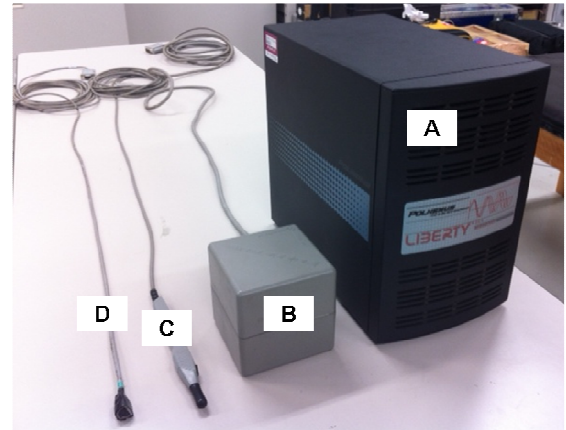
3-2-3 測定試技

対象者には十分なウォーミングアップを行わせた後，氷上に描かれたハウスの中心にストーンを止めるようにデリバリー動作(ドローショット)するよう指示した．また，対象者には試技毎に，ドローショットの成功失敗に関わらず，自身の納得のいくデリバリー動作をできた場合を 5 点満点として自己評価をさせた．分析対象は対象者の自己評価が高い試技 3 本とした．分析対象の 3 本分を得るために要した平均試行数は 9 試技であった．

3-2-4 データ収集

デリバリー動作中の非利き手側の大腿・下腿の3次元的な方位を電磁ゴニオメーター(LIBERTY,POLHEMUS 社製)を用いて、サンプリング周波数 240Hz で計測した。電磁ゴニオメーターはコントロールユニットと磁場を発生させるトランスミッタ、位置と方位を計測するセンサ、先端の位置をデジタイズするスタイラスで構成されている(図 13)。基準座標系 $R_g(x_g, y_g, z_g)$ はトランスミッタ内に定義されており、計測される全てのセンサの位置と方位は基準座標系について記録される。

電磁ゴニオメーターのセンサは有線であり、また、トランスミッタから半径約 100 cm の磁場内にセンサが存在する時にセンサの位置と方位を正確に計測できるため、対象者がデリバリー動作で氷上を滑るのに合わせて、コントロールユニットとトランスミッタを移動させなければならない。そこで、本研究ではコントロールユニットとトランスミッタを木製のソリに固定し、対象者の移動に合わせて、トランスミッタが



A:コントロールユニット B:トランスミッタ
C:スタイラス D:センサ
図 13 電磁ゴニオメーター

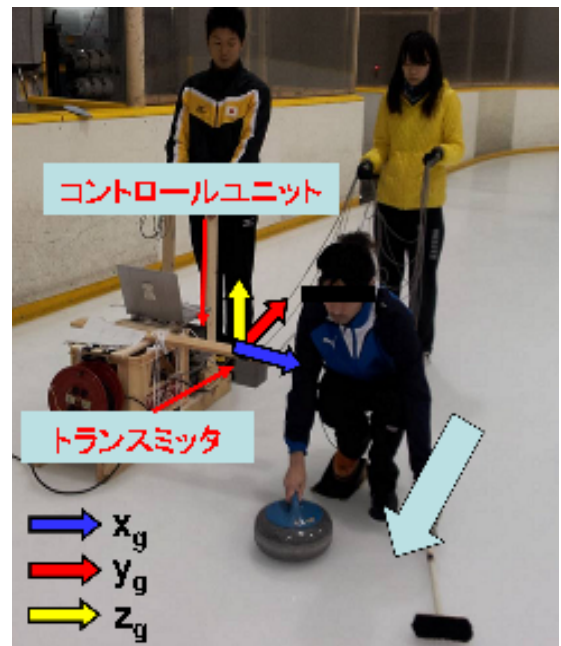


図 14 実験セッティング

出来る限り対象者の近くにあるよう留意しながらソリを移動させた(図 14)。

本章では左右大腿セグメントと左右下腿セグメントからなる4セグメントモデルとして定義し、大腿セグメントと下腿セグメントの3次元的な方位を計測するためにセンサを左右大腿外側遠位、左右下腿内側の計4箇所に両面テープ

で貼付した(図 15). 左右大腿外側遠位では腸脛靭帯上の外側広筋の膨隆がない部位に貼付し, 左右下腿内側では脛骨内側面の平坦部に貼付した. さらに, 皮膚上でのセンサの動きを抑えるためにテーピングテープで固定した.

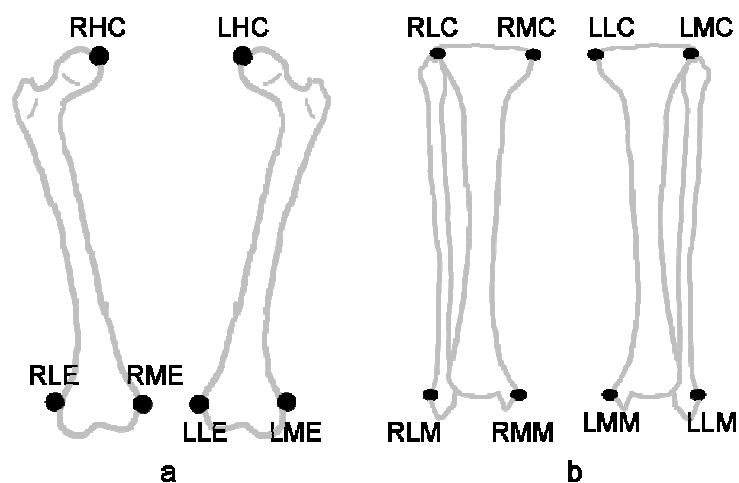


反対側も同様に貼付した.

デリバリー動作中における大腿セグメントと下腿セグメントの解剖学的座標系をそれぞれ定義するために, 対象者にデリバリー動作中の姿勢をとらせ, 左右大腿セグメントでは大腿骨内側上顆(ME), 大腿骨外側上顆(LE)の各 2 点, 左右下腿セグメントでは, 脛骨内側顆(MC), 脛骨外側顆(LC), 脛骨内果(MM), 腓骨外果(LM)の各 4 点, 計 12 箇所をスタイラスを用いてデジタイズし(図 16),

図 15 センサ貼付位置

大腿セグメントと下腿セグメントに固定されたセンサに対する 3 次元座標値として記録した. また左右股関節中心(HC)は, 下肢下垂位から股関節を中心として前後左右に十字を描くような運動を行なっている際の瞬時らせん軸を算出し, その Pivot point として推定した.



a: 大腿におけるデジタイズポイント b: 下腿におけるデジタイズポイント

図 16 デジタイズポイント

3-2-5 データ処理

デジタイズによって得られた解剖学的ランドマークの座標値から各セグメントに固定された解剖学的座標系を定義した．右大腿座標系 $R_{Rt}(x_{Rt}, y_{Rt}, z_{Rt})$ は, RME と RLE の中点から RHC に向かうベクトルを z_{Rt} とし, RME から RLE へ向かうベクトルと z_{Rt} の外積によって得られるベクトルを y_{Rt} , z_{Rt} と y_{Rt} の外積によって得られるベクトルを x_{Rt} と定義した．左大腿座標系 $R_{Lt}(x_{Lt}, y_{Lt}, z_{Lt})$ は, LME と LLE の中点から LHC に向かうベクトルを z_{Lt} とし, LLE から LME へ向かうベクトルと z_{Lt} の外積によって得られるベクトルを y_{Lt} , z_{Lt} と y_{Lt} の外積によって得られるベクトルを x_{Lt} と定義した(図 17)．右下腿座標系 $R_{Rs}(x_{Rs}, y_{Rs}, z_{Rs})$ は RMM と RLM の中点から RMC と RLC の中点へ向かうベクトルを z_{Rs} とし, RMM から RLM へ向かうベクトルと z_{Rs} の外積によって得られるベクトルを y_{Rs} , z_{Rs} と y_{Rs} の外積によって得られるベクトルを x_{Rs} と定義した．左下腿座標系 $R_{Ls}(x_{Ls}, y_{Ls}, z_{Ls})$ は LMM と LLM の中点から LMC と LLC の中点へ向かうベクトルを z_{Ls} とし, LLM から LMM へ向かうベクトルとの z_{Ls} 外積によって得られるベクトルを y_{Ls} とし, z_{Ls} と y_{Ls} の外積によって得られるベクトルを x_{Ls} と定義した(図 18)．

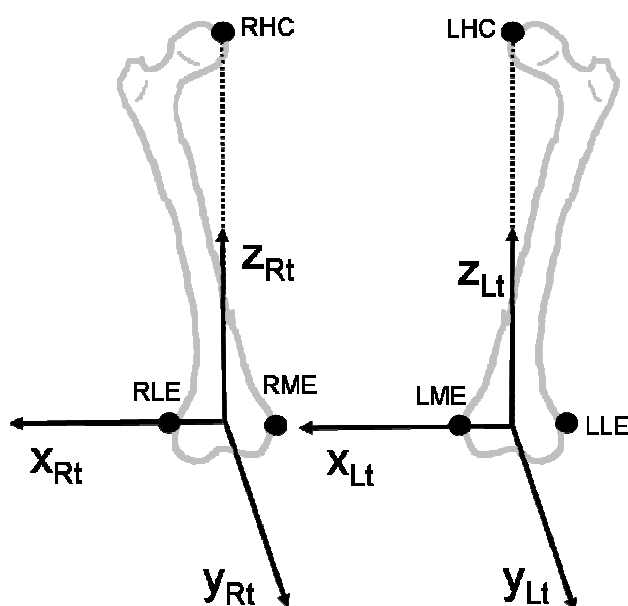


図 17 大腿における解剖学的ランドマークと大腿座標系

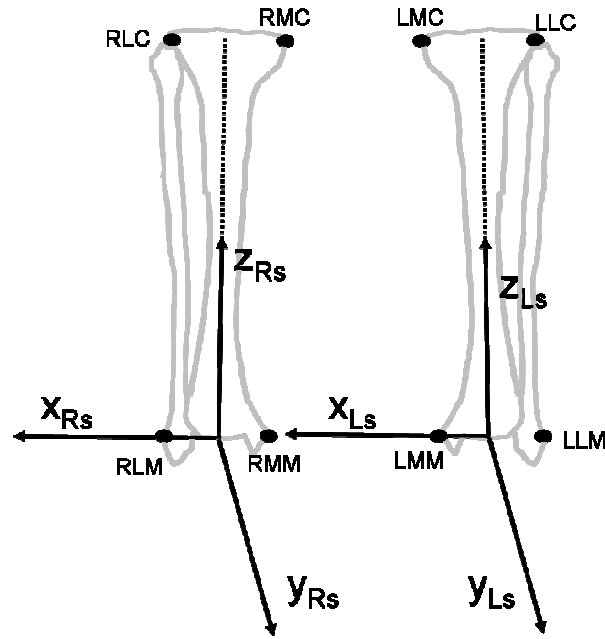
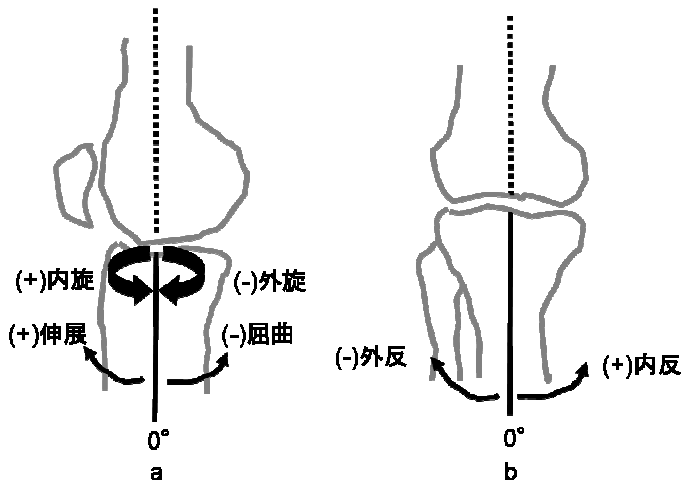


図 18 下腿における解剖学的ランドマークと下腿座標系

膝関節角度は，大腿座標系から下腿座標系への変換を，任意に定めた順序で連続して行う 3 回の回転角として定義した．はじめに大腿座標系と一致する移動座標系 $R_{s0}(x_{s0}, y_{s0}, z_{s0})$ を x_{s0} 軸周りに θ 回転させ，次に 1 回目の回転で得られた座標系 $R_{s1}(x_{s1}, y_{s1}, z_{s1})$ を y_{s1} 軸周りに ϕ 回転させ，最後に 2 回目の回転で得られた座標系 $R_{s2}(x_{s2}, y_{s2}, z_{s2})$ を z_{s2} 軸周りに ψ 回転させた．そして， $R_{s3}(x_{s3}, y_{s3}, z_{s3})$ を算出し，3 つの回転の角度 (θ , ϕ , ψ) をそれぞれ膝関節屈曲・伸展角度，膝関節内反・外反角度，膝関節回旋角度とした(図 19)．



a: 右膝関節を内側からみている. 左側も同様に定義した.
b: 右膝関節を前面からみている. 左側も同様に定義した.

図 19 膝関節角度方向定義

以下の回転行列を用いて，座標系 R_{s0} に対する R_{s3} の回転行列 $A(R_{s3}/R_{s0})$ を求めた．尚， $A(R_{s1}/R_{s0})$ は R_{s0} に対する R_{s1} の回転行列を， $A(R_{s2}/R_{s1})$ は R_{s1} に対す

る R_{s2} の回転行列を, $A_{(Rs3/Rs2)}$ は R_{s2} に対する R_{s3} の回転行列とそれぞれ定義する.

$$A_{(Rs1/Rs0)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$A_{(Rs2/Rs1)} = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \phi \end{bmatrix}$$

$$A_{(Rs3/Rs2)} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{(Rs3/Rs0)} = A_{(Rs1/Rs0)} A_{(Rs2/Rs1)} A_{(Rs3/Rs2)}$$

$$A_{(Rs3/Rs0)} = \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \psi & -\cos \phi \sin \psi & \sin \phi \\ \sin \theta \sin \phi \cos \psi + \cos \theta \sin \psi & -\sin \theta \sin \phi \sin \psi + \cos \theta \cos \psi & -\sin \theta \cos \phi \\ -\cos \theta \sin \phi \cos \psi + \sin \theta \sin \psi & \cos \theta \sin \phi \sin \psi + \sin \theta \cos \psi & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix}$$

... (式 1-1)

大腿座標系に対する下腿座標系の方位と R_{t0} に対する R_{t3} の方位が一致することから, 大腿座標系に対する下腿座標系の方位は次のようにも表せる. なお, $A(R_t/R_g)$ は基準座標系 R_g に対する大腿座標系 R_t の回転行列を示し, $A(R_s/R_g)$ は基準座標系 R_g に対する下腿座標系 R_s の回転行列を示す.

$$A_{(Rs3/Rs0)} = A_{(Rs/Rt)} = A_{(Rt/Rg)}^{-1} A_{(Rs/Rg)} = A_{(Rt/Rg)}^T A_{(Rs/Rg)}$$

$$A_{(Rs3/Rs0)} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

…(式 1-2)

式 1-1 と式 1-2 から以下のように θ , ϕ , ψ を算出した .

$$\theta = \tan^{-1}(-a_{23} / a_{33})$$

$$\phi = \tan^{-1}(a_{13} / \sqrt{a_{11}^2 + a_{12}^2})$$

$$\psi = \tan^{-1}(-a_{12} / a_{11})$$

この時 , 右側の ϕ (内反・外反角度)と左側の ϕ (内反・外反角度) , 右側の ϕ (回旋角度)と左側の ϕ (回旋角度)の正負が逆転するため , 左側の値に -1 をかけ , 正負が一致するよう計算した .

3-2-6 データ分析

デリバリー動作は , ハックと呼ばれる蹴り台を利き手側の下肢を伸展させて蹴ることによって開始される . そのため , 利き手側の膝関節伸展角度が最大になった瞬間をデリバリー姿勢の開始とした(図 20).

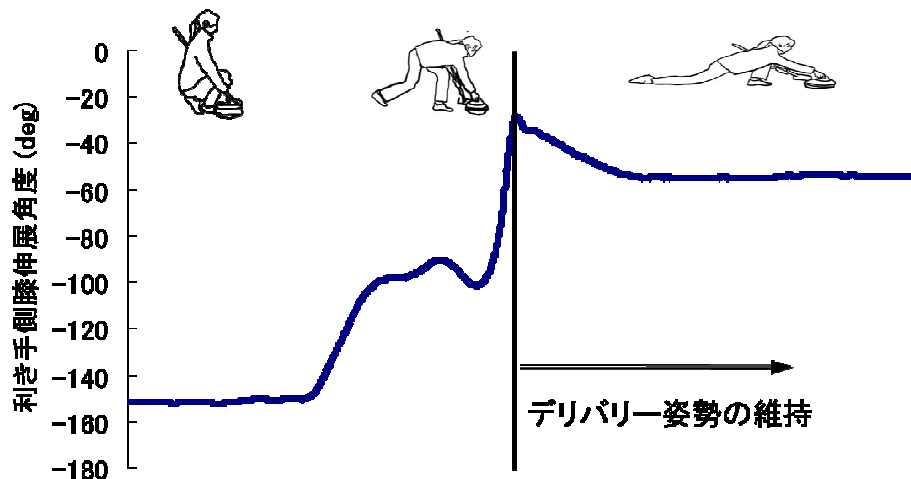


図 20 デリバリー姿勢開始の定義

デリバリー姿勢中の非利き手側の膝関節角度は，デリバリー姿勢開始後，波形が安定した所から 1.5 秒間の平均値とした(図 21)．各被験者の代表値は分析対象 3 試技の平均値とした．

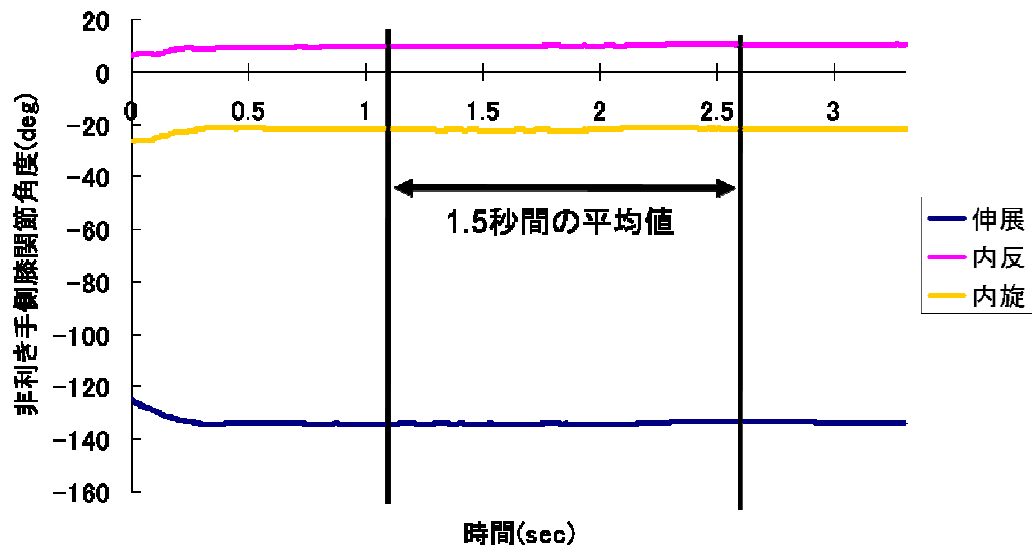


図 21 デリバリー姿勢中における膝関節角度の算出方法

各角度方向の定義を図 22 に示す．

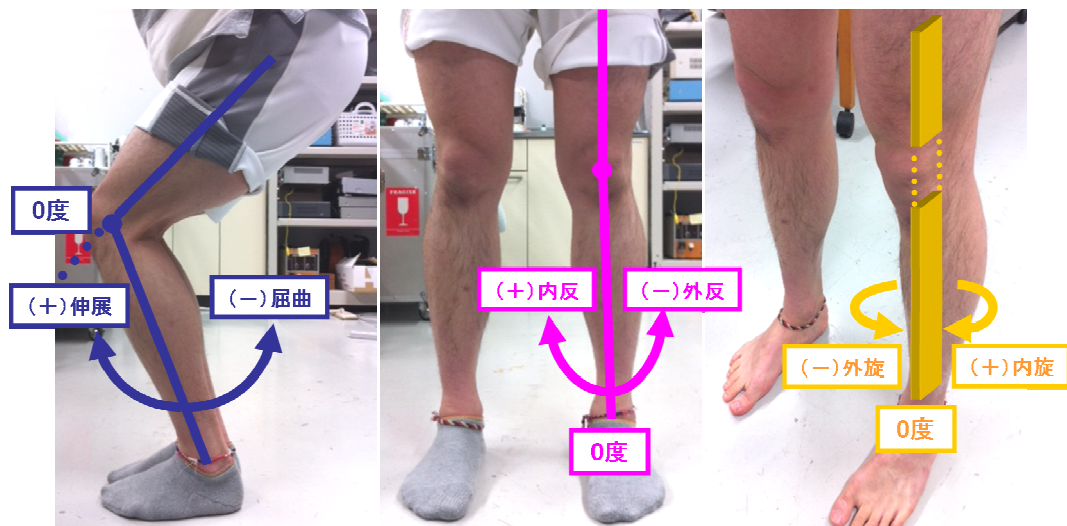


図 22 膝関節角度定義

3-2-7 統計処理

膝関節伸展角度，内反角度，内旋角度の各角度において，検定値を 0 とした 1 サンプル t 検定を使用した．検定における有意水準は 5% とした．統計処理には，統計解析ソフト (SPSS 12.0J for Windows) を用いた．

3-3 結果

自己評価の高かった3試技分におけるデリバリー姿勢中の非利き手側膝関節角度は、伸展 -124 ± 12 度、内反 12 ± 9 度、内旋 -6 ± 14 度であり(図23)、全試技を対象とした95%信頼区間は、伸展 -119 度から -132 度、内反8度から18度、内旋2度から -13 度であった。1サンプルt検定の結果、屈曲・伸展角度は0ではないことが示され($p=0.00$)、内反・外反角度でも0ではないことが示された($p=0.001$)。一方、内旋・外旋角度については、有意な差が認められなかった($p=0.13$)。また、対象者の中には膝関節障害の既往歴がある者(5名)がおり、既往歴がある者の自己評価の高かった3試技分におけるデリバリー姿勢中の非利き手側膝関節角度は、伸展 -123 ± 11 度、内反 16 ± 9 度、内旋 -10 ± 10 度であった。一方、膝関節障害の既往歴がない者(8名)の自己評価の高かった3試技分におけるデリバリー姿勢中の非利き手側膝関節角度は、伸展 -124 ± 13 度、内反 9 ± 8 度、内旋 -4 ± 16 度であった。各対象者の自己評価の高かった3試技分における平均角度と、そのうちの最大値と最小値を以下に示す(表4)。

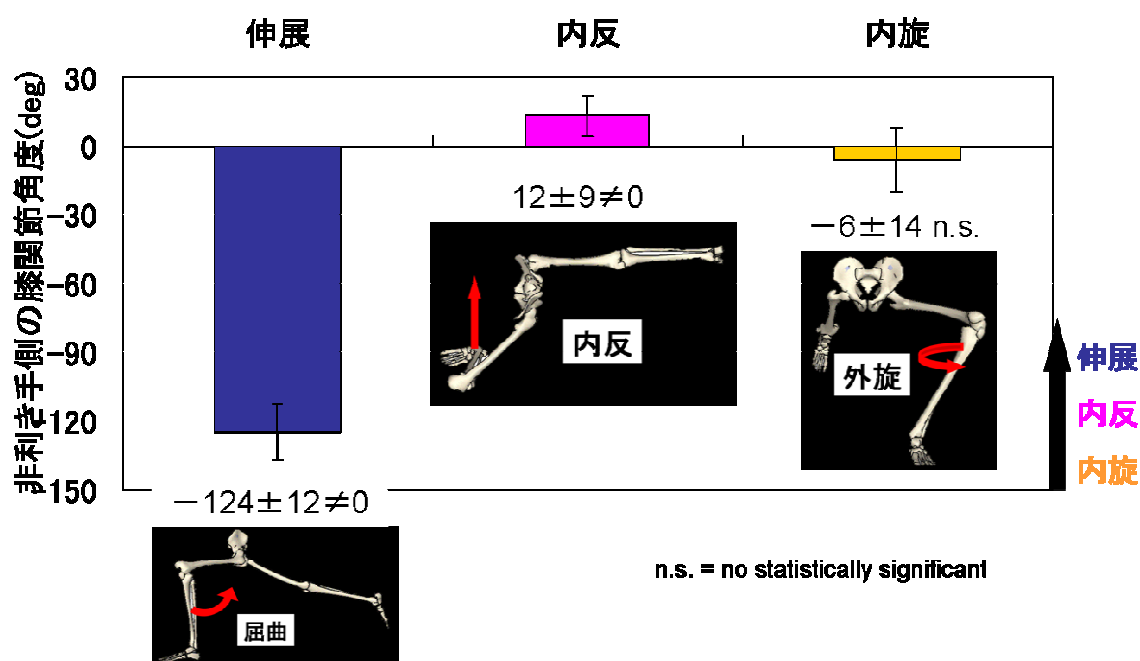


図 23 デリバリー姿勢中の非利き手側膝関節角度

表 4 全対象者のデリバリー姿勢中の平均角度と最大・最小値

対象者	伸展 (max to min)	内反 (max to min)	内旋 (max to min)
既往歴なし	A -133 (-132 to -134)	7 (8 to 6)	-18 (-17 to -19)
	B -114 (-114 to -114)	-4 (-3 to -4)	-26 (-25 to -28)
	C -134 (-132 to -136)	7 (7 to 6)	1 (3 to 0)
	D -135 (-134 to -136)	10 (11to 8)	-21 (-20 to -23)
	E -115 (-115 to -115)	8 (12 to 6)	-7 (-4 to -9)
	F -135 (-135 to -136)	16 (18 to 15)	8 (8 to 6)
	G -127 (-126 to -127)	23 (28 to 18)	15 (15 to 14)
	H -100 (-100 to -101)	4 (4 to 4)	15 (16 to 13)
既往歴あり	I -114 (-113 to -115)	14 (14 to 13)	-27 (-26 to -29)
	J -116 (-114 to -118)	6 (7 to 5)	-4 (-3 to -5)
	K -142 (-141 to -143)	22 (22 to 22)	-2 (-2 to -3)
	L -121 (-120 to -123)	10 (13 to 9)	-5 (-4 to -6)
	M -123 (-122 to -124)	29 (30 to 28)	-12 (-11 to -13)

max:最大値 min:最小値
n = 自己評価の高い3試技

3-4 考察

本研究はデリバリー動作中の非利き手側膝関節の角度を明らかにすることを目的として、男子カーリング選手を対象にデリバリー姿勢を保持した状態の非利き手側膝関節角度の計測を行った。その結果、非利き手側膝関節角度の平均値は屈曲 124 度、内反 12 度、外旋 6 度であった。また、1 サンプル t 検定の結果より、デリバリー動作中の非利き手側の膝関節は屈曲、内反しているが、内旋・外旋では一貫した傾向が見られないことが示された。

本研究で用いられた計測方法の精度は 1)皮膚の動きによってセンサとデジタイズポイントの相対的な位置がずれてしまうこと、2)大腿座標系、下腿座標系を定義する時に用いるデジタイズポイントの触診の誤差による影響を受ける。皮膚の動きによるセンサとデジタイズポイントの相対的な位置のずれは、デリバリー動作中の姿勢でデジタイズを行うことにより、デリバリー動作中であればセンサとデジタイズポイントの相対的な位置のずれが生じないように配慮したが、デジタイズポイントのずれによる誤差を含む可能性は排除できない。そこで、健常成人男性 4 名を対象に各 3 回ずつデジタイズを行い、デジタイズの誤差が膝関節角度にどの程度現れるのかを検証した。その結果、各対象の 3 回のデジタイズにおける標準偏差の平均値はそれぞれ、屈曲・伸展 2 度、内・外反 4 度、内外旋 5 度であった。デリバリー姿勢中に計測された膝関節角度は、屈曲 124 度、内反 12 度、外旋 6 度であったが、これらの値はデジタイズの誤差である屈曲・伸展 2 度、内・外反 4 度、内外旋 5 度よりも大きいため、本研究により得られた結果は再現性のあるものであると考えられる。カーリングで行われる動作を計測した報告は極めて少なく、柳ら(2011)がスweep動作中の床反力と心拍数を報告したものに限られており、本章で得られた結果は、デリバリー動作を計測した貴重な知見となり得る。

Lafortune et al(1992)は歩行中の膝関節内反、外旋角度を計測し、その結果、

外反 1 度，外旋 2～3 度であったと報告している．また，Myers et al(2011)は成人男性 6 名に 40 cm の高さから両脚着地させ，その時の膝関節角度は外反最大 2.3 度，外旋最大 18.9 度であったと報告しており，根地嶋ら(2008)は高校女子バスケットボール選手 13 名を対象に 30 cm の高さから片脚着地させ，その時の膝関節角度は内反 1 度であると報告している．Pantano et al (2005)は男女 10 名を対象に，ビデオカメラを用いて膝関節屈曲 45 度までの片脚スクワット時の膝関節の動きを撮影し，最大外反角度は約 10 度であったと報告し，また，下戸ら(2010)は男性 2 名を対象に，CT(Computed tomography)を用いてスクワット動作時の膝関節の動きを撮影し，その結果，屈曲 136 度，外反約 5 度，内旋 10 度であったと報告している．これらのことから，膝関節屈曲位となるような動作の時，膝関節は外反することが多いと考えられる．本章で明らかになった膝関節は屈曲 124 度であり，下戸ら(2010)が報告した膝関節屈曲角度の結果に近い角度であるために，内外反の動きもこれに近い角度を示すことが予想される．しかし，下戸らは外反を示しているのに対して，デリバリー動作時には内反している．このことから，デリバリー動作は通常とは異なる動きをしていると考えられ，これはデリバリー動作の特徴の 1 つであるといえる．

膝関節の内反可動域は屈曲角度によって異なると言われている(Zatsiorsky 1998)．そこでデリバリー動作中の屈曲角度(124 度)における膝関節内反可動域を特定するために，男子カーリング選手(4 名)と一般成人男性(6 名)の膝関節内反可動域を測定した(付録参照)．その結果，男子カーリング選手は屈曲 124 度の時，最大内反 20 度の可動域を有し，デリバリー動作中の膝関節角度と比べると，内反は 8 度大きい(表 5)．デジタイズの再現性による誤差は内反 4 度であり，男子カーリング選手の内反可動域とデリバリー動作中の膝関節内反角度の差は誤差範囲以上であることから，デリバリー動作中の膝関節内反角度は男子カーリング選手の内反可動域を超えていないといえる．また，男子カーリン

グ選手の膝関節内反可動域を

内反

外旋

もとにデリバリー姿勢中の膝

カーリング選手の可動域

20

22

関節内反角度の z 値を求め、

一般成人の可動域

9

15

デリバリー動作中の膝関節内

デリバリー動作中の角度

12

6

反角度が膝関節内反可動域を

表 5 膝関節可動域と

超える確率を求めたところ、

デリバリー動作中の膝関節角度(deg)

12%であり、動作中の内反角度

が膝関節内反可動域を超える可能性は低い。また、本章の被験者 A は付録の被

験者 1 と同一人物であり、本章の被験者 H は付録の被験者 2 と同一人物である。

被験者 A の膝関節内反可動域は 11 度、デリバリー動作中の膝関節内反角度は 7

度であり、動作中の膝関節内反角度が内反可動域を超える確率は 0.1%未満であ

った。被験者 H の膝関節内反可動域は 24 度、デリバリー動作中の膝関節内反

角度は 2 度であり、動作中の膝関節内反角度が内反可動域を超える確率は 0.1%

未満であった。これらのことから、デリバリー動作中の膝関節は男子カーリン

グ選手の内反可動域を超えないような内反角度で行われている可能性が高いと

言える。しかし、一般成人男性は屈曲 124 度の時、最大内反 9 度であり、カー

リング選手の値と比べて小さな可動域を持つ傾向がみられた(表 5)。デリバリ

ー動作中の膝関節内反角度は一般成人男性の膝関節内反可動域よりも 3 度大き

い。また、デリバリー姿勢中の膝関節内反角度が一般成人男性の内反可動域を

超える確率は 84%であった。これらのことから、デリバリー姿勢中の膝関節内

反角度は一般成人男性の内反可動域の限界に近い角度である可能性が示唆され

た。また、男子カーリング選手の内反可動域と一般成人男性の内反可動域を比

べると、男子カーリング選手の内反可動域の方が大きい。カーリングの試合で

は、デリバリー動作を約 20 秒間、1 試合約 20 回行うので、延べ約 400 秒間、

一般成人男性の内反可動域の限界に近い膝関節内反角度を維持していることに

なる．Bandy & Irion (1994)は 1 日 1 回 30 秒間のストレッチングは関節可動域を向上させると報告しており，10 秒間のストレッチングを 6 回繰り返して計 1 分間行なう場合と，30 秒間を 2 回繰り返して計 1 分間行なう場合とでは効果に差がないと報告されている(Cipriani 2003)．また，ストレッチングの強度は，張りが感じられるが痛みのない程度の低強度でも効果があるといわれている(Baechle & Earle 2001, Alter 2010, Apostolopoulos 2001)．デリバリー動作中の膝関節内反角度は男子カーリング選手の膝関節内反可動域を超えない姿勢であるものの，延べ 400 秒間その姿勢を保持することから，デリバリー動作はカーリング選手の内反可動域を大きくする可能性が考えられる．実際に，一般成人男性と男子カーリング選手の内反可動域を比較すると，男子カーリング選手の方が大きかった．内反可動域が大きいということは，膝関節の内反動揺性が大きくなり，膝関節が不安定な状態であるといえる．関節の動揺性が増大した不安定な状態で運動することで通常とは異なる動きが生じ，関節周囲の組織を損傷させる危険性があるといわれている．これらのことから，カーリングにおける膝関節障害を生じさせる 1 つの要因は，一般成人の内反可動域の限界に近い内反角度でデリバリー動作を行うことで，膝関節内反可動域が増大し，その結果，デリバリー動作中の膝関節の動揺性が大きくなった状態になることだと考えられる．

3-5 まとめ

本章ではデリバリー動作中の非利き手側の膝関節角度を明らかにし、膝関節障害となり得るリスクを検討することを目的に、男子カーリング選手を対象にデリバリー姿勢中の非利き手側の膝関節角度を計測した。その結果、デリバリー姿勢中の非利き手側の膝関節は屈曲 124 度、内反 12 度、外旋 6 度であり、動作中、非利き手側の膝関節は屈曲、内反しているが、内外旋では一貫した傾向がみられなかった。この時の膝関節内反角度は男子カーリング選手の内反可動域内であったが、一般成人男性の膝関節内反可動域を超えるような角度であり、カーリング選手は一般成人男性の内反可動域の限界に近い内反角度でのデリバリー動作を行うことで膝関節内反可動域が大きくなると考えられる。このことから、カーリングにおける膝関節障害を生じさせる要因は、膝関節を屈曲、内反するデリバリー動作を一般成人男性の内反可動域の限界に近い、またはそれを超える肢位で繰り返し行うことによって膝関節内反可動域が増大し関節動揺性が増すこと、および、動揺性の増大した膝関節でデリバリー動作を行うこと、ではないかと推察される。

第 4 章

総括論議

本研究は，カーリングにおける膝関節障害の実態を明らかにし，その要因を検討することを目的に，カーリング選手を対象に障害調査と，デリバリー姿勢中における膝関節角度の計測を行った．第 2 章の障害調査の結果，カーリングでは非利き手側の膝関節の内側に最も多く障害が生じることが明らかになった．

第 2 章において，1 回あたり 1～2 時間の練習を週 1 日のみ行う選手が最も多いことが明らかになった．本研究では，膝関節障害を引き起こす要因の 1 つとして，練習を長時間，高頻度繰り返す，オーバーユースによるものだと仮説をたてたが，第 2 章の結果は本研究でオーバーユース障害と定義した「1 回 2 時間以上の練習を週 4 日以上継続的に行った結果生じる障害」という基準を満たすものではなく，また，靱帯や腱などの微細な損傷や疲労からの回復の為に練習間で少なくとも 1 日間のインターバルが必要であると言われており (Bishop et al 2011, Baechle & Earle 2002)，カーリング選手の練習間は 1 日間以上のインターバルが空いていることから，カーリングにおける膝関節障害はオーバーユース障害とは考えにくい．

第 3 章において，デリバリー動作中の非利き手側の膝関節は屈曲，内反していることが示されたが，この膝関節屈曲，内反の動きは内側半月板を損傷させるリスクの動きの 1 つであるといわれている (Escamilla 2001, 中嶋ら 2006)．デリバリー動作中の内反の動きは一般成人の持つ内反可動域の限界に近い角度で行われている可能性があり，非利き手側で全体重を支持しながらデリバリー姿勢を維持している．また，内反可動域は一般成人よりもカーリング選手の方が大きく，障害を有する選手は有さない選手よりも有意に競技経験年数が長かった．Reid et al (1987)はトゥアウトと呼ばれる股関節を外旋させる姿勢を維

持するクラシックバレエダンサーの股関節外旋可動域は未経験者の股関節外旋可動域よりも有意に大きく、また、経験年数が長いダンサーは経験年数が短いダンサーよりも股関節外旋可動域が大きいと報告をしている。これらのことから、カーリング選手は正常な内反可動域の限界に近い内反角度でのデリバリー動作を長年行うことで膝関節内反可動域が大きくなると考えられる。膝関節内反可動域が大きくなることで正常な可動域を超える内反角度でデリバリー動作を行い得るようになり、内側半月板を損傷させてしまうような内反角度に達する可能性が考えられる。実際に、膝関節障害の既往歴のない選手のデリバリー動作中の内反角度は 9 度であるのに対して、膝関節障害の既往歴を持つ選手のデリバリー動作中の内反角度は 16 度であり、既往歴を持つ選手の方がデリバリー動作中の内反角度が大きい傾向がみられた。また、選手は氷上でデリバリー姿勢を維持するが、接地面の摩擦が小さいために、内反可動域が大きくなり内反動揺性が増大した膝関節は揺らぐと推察される。膝関節が揺らぐことで通常とは異なる動きが生じ、膝関節周囲の組織を損傷させる危険性が考えられる。結果として、非利き手側の内側に障害を抱える選手がカーリングには多くなったのではないかと考えられる。

以上のことから、カーリング選手は、膝関節を屈曲、内反するデリバリー動作を一般成人男性の内反可動域の限界に近いような角度で長年行うことによって膝関節内反可動域が大きくなり、正常な可動域を超えるような内反角度でデリバリー動作を行うことで、腱や靱帯以外の組織を損傷させてしまう可能性が考えられる。

第 5 章

結 論

本研究は，カーリングにおける膝関節障害の実態を明らかにし，その要因を検討することを目的に，障害調査とデリバリー姿勢中の非利き手側膝関節角度の計測を行った．その結果，カーリングにおいて生じる障害のうち 40.4% が膝関節障害であり他部位に比べて最も多く，特に非利き手側の内側に多く発生し，膝関節障害の有無における練習時間，練習日数に違いはなく，1 回 1～2 時間の練習を週 1 日のみ行う選手が最も多いことが明らかになった．また，デリバリー姿勢中の非利き手側の膝関節は屈曲 124 度，内反 12 度，外旋 6 度であり，非利き手側の膝関節は屈曲，内反するが，内外旋では一貫した傾向がみられないことが示され，非利き手側の膝関節を屈曲，内反するデリバリー動作はカーリング選手の膝関節可動域を大きくさせる可能性が示された．

これらのことから，カーリングにおける膝関節障害を生じさせる要因は，膝関節を屈曲，内反するデリバリー動作を一般成人男性の内反可動域の限界に近い，またはそれを超える肢位で繰り返し行うことによって膝関節内反可動域が増大し関節動揺性が増すこと，および，動揺性の増大した膝関節でデリバリー動作を行うこと，ではないかと推察される．

付録

男子カーリング選手と一般成人男性の膝関節可動域

1 目的

デリバリー動作中の屈曲角度における膝関節内反・外旋可動域を明らかにすることとした。

2 方法

2-1 対象者

対象者は男子カーリング選手 4 名(年齢 24 ± 2.7 歳, 競技経験年数 5.3 ± 2.6 年, 身長 $1.71 \pm 0.06\text{m}$, 体重 $64.5 \pm 15.0\text{kg}$)と一般成人男性 6 名(年齢 23.3 ± 1.6 歳, 身長 $1.70 \pm 0.04\text{m}$, 体重 $64.8 \pm 12.8\text{kg}$)とし, 測定側は非利き手側とした。測定は 3 回行い, デリバリー動作時の膝関節屈曲角度における膝関節内反・外旋角度が最大の時の試技を分析対象とした。

2-2 データ収集

対象者を仰臥位にさせ, 脱力するように指示し, 対象者の踵をつかみ, 膝関節の上に手を置き, 膝関節を徒手で内側に最大限に押し最大内反させ, 同時に最大外旋した。最大内反と最大外旋を維持したまま, ゆっくり膝関節を屈曲させた(図 24)。この時の大腿・下腿の 3 次元的な方位を電磁ゴニオメーター(LIBERTY, POLHEMUS 社製)を用いて,



Stanley Hoppenfeld;図解 四肢と脊椎の診かた.186,1984.より引用

図 24 膝関節可動域測定方法

サンプリング周波数 240Hz で計測した。膝関節を他動的に動かす際、センサが皮膚の動きの影響を受けないよう留意しながら行った。センサ貼付位置、セグメント定義、デジタイズポイントは第 3 章と同様とした。

2-3 データ処理

大腿セグメントと下腿セグメントの解剖学的座標定義、膝関節角度算出方法は第 3 章で用いた処理方法と同様とした。

2-3 データ分析

膝関節可動域は、測定したデータ中における、デリバリー動作中膝関節屈曲角度の 95%信頼区間にあたる間の平均角度とした(図 25)。

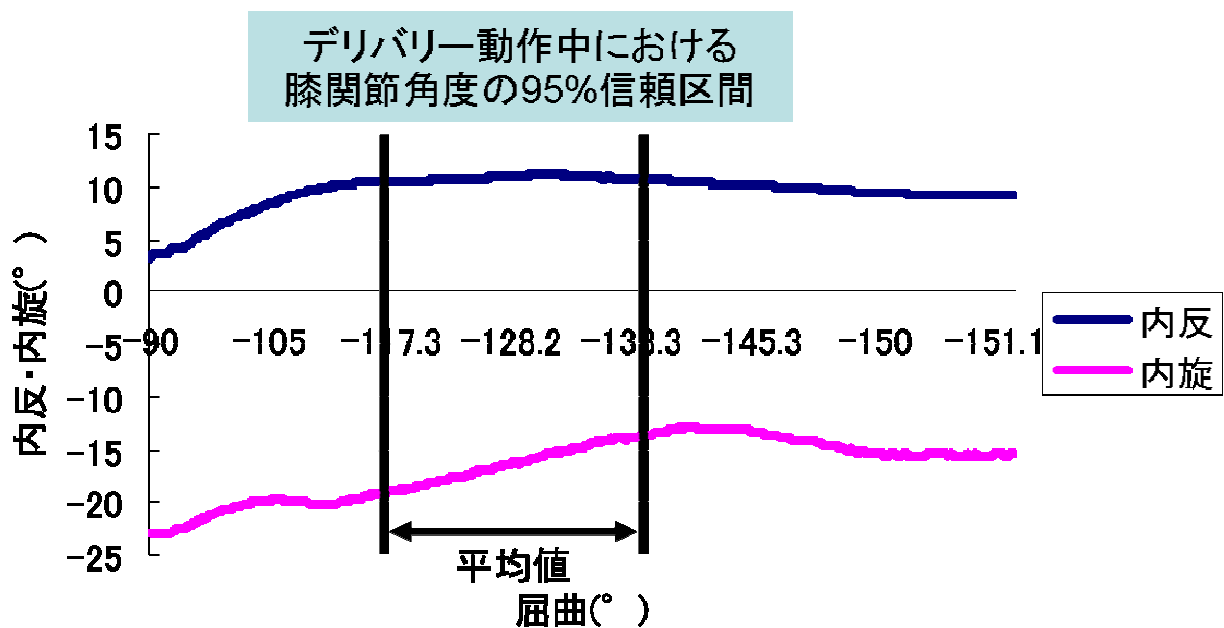


図 25 膝関節可動域の算出方法

3 結果

以下の結果は，膝関節屈曲 124 度の時の，同時に内反と外旋を最大まで動かした時のそれぞれの角度を示している．つまり，男子カーリング選手の膝関節屈曲 124 度時の膝関節最大可動域は，内反 20 度，外旋 22 度であり，一方，一般成人男性の膝関節屈曲 125 度時の膝関節最大可動域は，内反 9 度，外旋 15 度であった(図 26)．表 6 には全対象者の膝関節屈曲 124 度の時の最大内反，最大内旋可動域を示す．

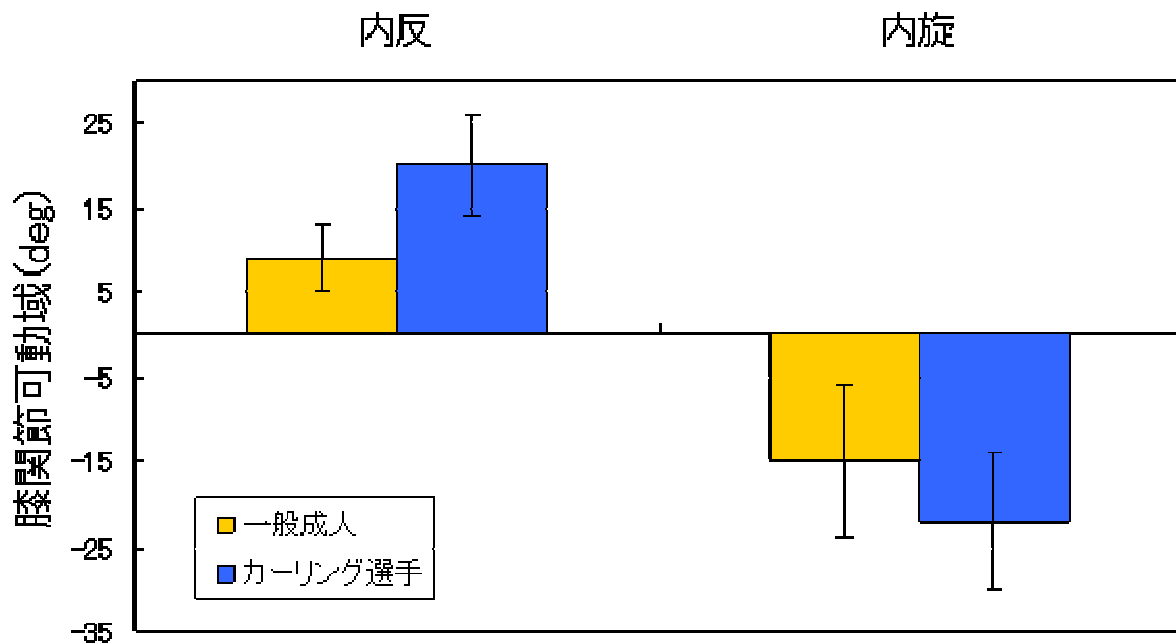


図 26 膝関節屈曲 124 度時の膝関節最大可動域

表 6 全対象者の膝関節 124 度時の膝関節最大可動域 (deg)

	対象者	内反(SD)	外旋(SD)
男子カーリング選手	1	11 (0.2)	16 (2)
	2	24 (1)	14 (1)
	3	20 (0.1)	25 (2)
	4	25 (0.2)	31 (2)
一般成人男性	5	11 (0.2)	17 (1)
	6	1 (1)	20 (0.2)
	7	11 (1)	2 (1)
	8	7 (0.3)	5 (1)
	9	9 (0.4)	21 (2)
	10	13 (1)	23 (1)

SD: 標準偏差

参考文献

1. Apostolopoulos,N. : Performance flexibility. In high-performance sports conditioning, ed. B. Foran,49-61. Champaign, IL: Human Kinetics,2001.
2. Baechle Thomas R. , Earle Ronger W.: ストレングストレーニング&コンディショニング.2002.
3. Bandy William D. , Irion Jean M. : The effect of time on static stretch on the flexibility of the hamstring muscles. Physical Therapy. 74(9):845-850,1994.
4. Bishop Phillip A. , Jones Eric , Woods A.Krista : トレーニングからの回復 : 簡潔なレビュー. Strength & conditioning journal 18(1):50-60,2011.
5. Cipriani D., Abel B., Pirrwitz D.: A comparison of two stretching protocols on hip range of motion :Implications for total daily stretch duration. Journal of strength and conditioning research. 17(2):274-278,2003.
6. Escamila,Rafael F. : Knee biomechanics of the dynamic squat exercise.Medicine & science in sports & exercise.33(1):127-141,2001.
7. 林光俊,石井良章:ジャンパー膝のリハビリテーション.臨床スポーツ医学.16(9):1047-1054,1999.
8. Hoppenfeld,Stanley : 図解 四肢と脊椎の診かた.1984.
9. Huang Yung-Hsien, Wu Ting-Yu, Learman Kenneth E, Tsai Yung-Shen: A comparison of throwing kinematics between youth baseball players with and without a history of medial elbow pain. Chinese Journal of Physiology.53(3):160-166,2010.
10. 石井義則,井村健二,今泉聡:'94 トライアスロン・ジャパンカップイン佐渡出場選手のスポーツ外傷・障害の実態調査.臨床スポーツ医学.

学.14(4):431-434,1997

- 11.板倉尚子:鷺足炎発症メカニズムとその予防・再発予防.臨床スポーツ医学.25:261-265,2008.
- 12.岩本紗由美,倉持梨恵子,福林徹:大学, 高校テニス選手の外傷・障害発生および練習状況の現状.日本臨床スポーツ医学会誌.19(1):36-42,2011.
- 13.James S.L., Bates B.T., Ostering L.R.: Injuries to runners. American Journal of Sports Medicine.6:40-50,1978.
- 14.金岡恒治,清水顕,武藤芳照,落合直之:マスタース水泳選手の障害の実態.臨床スポーツ医学.21(3):269-273,2004.
- 15.笠次良爾,中山正一郎,高倉義典:一般トライアスロン愛好者におけるスポーツ傷害調査.日本臨床スポーツ医学会誌.10(1):121-128,2002.
- 16.片山直樹ら:一流水泳選手の水泳に伴う外傷・障害.日本整形外科スポーツ医学会雑誌.20(1):34-41,2000.
- 17.河原勝博ら:宮崎県少年選手におけるメディカルチェック - 障害・外傷と関節弛緩性・筋柔軟性との関連について -.日本臨床スポーツ医学会誌.18(1):59-66,2010.
- 18.近ら:投球動作解析.臨床スポーツ医学.22(11):1343-1351,2005.
- 19.Krivickas Lisa S.: Anatomical factors associated with Overuse sports injuries. Sports Medicine.24(2):132-146,1997.
- 20.Lafortune M.A., Cavanagh P.R., Sommer H.J., Kalenak A.: Three dimensional kinematics of the human knee during walking. J.Biomechanics.25(4):347-357,1992.
- 21.増山智彦,恐神邦秀,明官秀隆:カーリング競技に於ける投球正確度率について.釧路工業高等専門学校紀要.27:105-108,1993.
- 22.武藤芳照:図解スポーツ障害のメカニズムと予防のポイント.1992.

23. Myers Casey A. et al: Measurements of tibiofemoral kinematics during soft and stiff drop landings using biplane fluoroscopy. American Journal of Sports Medicine.39:1714-1722,2011.
24. 中嶋一晶ら:MRI から構成した三次元 FEM モデルによる膝軟部組織の応力解析 - 半月板損傷のメカニズム解明に向けて - .日本臨床バイオメカニクス学会誌.27:131-135,2006.
25. 根地嶋誠,浦辺幸夫,横山茂樹:両脚着地と片脚着地動作時の膝関節角度の相違 - 特に膝内・外反について - .日本臨床バイオメカニクス学会誌.29:39-44,2008.
26. Noehren Brian, Davis Irene, Hamill Joseph: Prospective study of the biomechanical factors associated with iliotibial band syndrome. Clinical Biomechanics.22:951-956,2007
27. 小川豊和:(社)日本カーリング協会オフィシャルブックみんなのカーリング.2006.
28. 大久保衛ら:オーバーユース障害.ウイダー・スポーツ・メディシン・バイブル.320-325,1991.
29. オルター.マイケル J. , 柔軟性の科学.2010.
30. O'Toole et al : Overuse injuries in ultraendurance triathletes. The American iournal of sports medicine.17(4):514-518,1989.
31. Pantano Ksthleen J. , White Scott C. , Gilchrist Louise A. , Leddy Hohn : Differences in peak knee valgus angles between individuals with high and low Q-angles during a single limb squat.Clinical biomechanics.20:966-972,2005.
32. Reeser J C, Berg R L: Self reported injury patterns among competitive curlers in the United States: a preliminary investigation into the

- epidemiology of curling injuries. British Journal of Sports Medicine.38:e29,2004.
- 33.Reid D.C et al : Lower extremity flexibility patterns in classical ballet dancers and their correlation to lateral hip and knee injuries. The American journal of sports medicine.15(4):347-352,1987.
- 34.Renstrom Per, Johnson Robert J.: Overuse injuries in sports. Sports Medicine.2:316-333,1985.
- 35.佐藤謙次,渡辺幸勇,脇元幸一:バレーボール選手の体力特性.理学療法.22(1):286-292,2005.
- 36.下戸健ら:健常生体膝を対象としたスクワット動作時における動態解析.臨床バイオメカニクス.31:363-368,2010.
- 37.高橋小夜利:カーリング女子日本代表チームのトレーナーサポート.トレーニング科学.23(1):7-12,2011.
- 38.鳥巢岳彦,国分正一:標準整形外科学第9版,2005.
- 39.辻貴史ら:高校生陸上競技選手のスポーツ外傷・障害に関する調査.臨床スポーツ医学.6(9):1029-1034,1989.
- 40.渡辺秀臣ら:平成14年度における高校野球選手の肩検診.The KITAKANTO medical journal.54(2):137-142,2004.
- 41.Wilder Robert p: Overuse injuries: tendinopathies, stress fractures, compartment syndrome, and shin splints. Clinics in Sports Medicine.23:55-81,2004.
- 42.柳等,宮越勝美:大学カーリングチームにおけるトレーニングの科学.トレーニング科学.23(1):13-19,2011.
- 43.Zatsiorsky Vladimir M.: Kinematics of human motion. 1998.

謝 辞

本研究は指導教員である矢内利政教授の御指導の下に行われました。研究に関する専門知識や力学の知識に乏しい私にでも分かりやすい，かつ熱心な御指導を賜り，また，論文指導や学会発表準備の際には，深夜まで御指導を賜りました矢内教授に心より感謝の意を表します。

本論文の審査において，川上泰雄教授，金岡恒治准教授には快く副査を引き受けていただきました。バイオメカニクス研究室の皆様にはミーティングなどの場で貴重な助言を頂き，データ収集時にご協力を頂き，時には相談にも乗っていただきました。特に近田彰治先生には研究プロトコルの作成やデータの解釈，論文の添削など研究を行っていく上で多くのアドバイスを頂きました。心より感謝申し上げます。また，同期の橋本幸代さんと谷中拓哉君，杉本圭君にはデータ収集にご協力を頂くことが多く，ご迷惑をお掛けしてしまいました。共に学べて本当に幸せでした。

研究を実施するにあたり，障害調査では日本カーリング協会の皆様には多大なる御協力を頂き，また，選手の皆様には実験の被験者を快く引き受けていただきました。心より御礼申し上げます。日本カーリング界のさらなるご発展を心よりお祈りいたします。

最後に，大学だけでなく，大学院への進学を快く応援していただき，常に温かく見守り支えてくれた両親をはじめ，家族の皆様に心より感謝申し上げます。本当にありがとうございました。

2012 年 2 月 23 日

橋本 祥太郎