

博士論文

健常若年女性における月経周期が柔軟性と  
筋パフォーマンスに及ぼす影響

令和3年度

筑波大学大学院人間総合科学研究科スポーツ医学専攻

宮崎 学

筑波大学

## 目次

第1章 緒論	
1-1. 背景.....	1
1-2. 用語の定義.....	4
1-3. 文献研究.....	7
1-4. 本研究の課題と目的.....	16
第2章 研究課題1：健常な若年女性における月経周期と柔軟性の関連性	
2-1. 緒言.....	17
2-2. 方法.....	18
2-3. 結果.....	27
2-4. 考察.....	30
2-5. 結論.....	32
第3章 研究課題2：健常な若年女性における月経周期と筋パフォーマンスの関連性	
3-1. 緒言.....	33
3-2. 方法.....	34
3-3. 結果.....	39
3-4. 考察.....	44
3-5. 結論.....	47
第4章 総合討論	
4-1. 本研究で得られた成果.....	48
4-2. 本研究で得られた成果の意義.....	48
4-3. 研究の限界.....	50
第5章 結語.....	51
謝辞.....	51
参考文献.....	52

## 第1章 緒論

### 1-1. 背景

近年、女性の社会進出の進展に伴い、女性アスリートのスポーツにおける活躍の場が広がっている。その結果、女性の月経周期による性ホルモンの変化が柔軟性や筋力、運動パフォーマンスに与える影響が注目され、広く議論されるようになった<sup>1)</sup>。そのなかでも、女性アスリートの傷害発生リスクと性ホルモンの関連については、多くの議論があり、特に前十字靭帯（anterior cruciate ligament ; ACL）損傷に関する研究は注目されている。ACL 損傷は変形性膝関節症の発症リスクを高め<sup>2)</sup>、社会的<sup>3)</sup>・経済的<sup>4)</sup>に大きな負担となることが明らかになっている。一方、女子アスリートの ACL 損傷の発生率は男子アスリートに比べて高く<sup>5,6)</sup>、70%は非接触型損傷であると報告されている<sup>7)</sup>。ACL 損傷の主な危険因子として、内的因子（アライメント、解剖学的構造、生体力学的な男女差）と外的因子（競技特性、装具、環境）が挙げられており<sup>8,9)</sup>、これらが相互的に加わることで、外傷発生リスクを高めることが示されている<sup>10)</sup>。女性アスリートに ACL 損傷が多い理由として、月経周期の変化や性ホルモンの影響が関与していることが指摘されている<sup>11)</sup>。月経周期が ACL 損傷に及ぼす影響に関する研究のシステマティックレビューでは、排卵期において ACL 損傷のリスクが最も高いことが報告されており、この時期には損傷を避けるために注意を払う必要があることが指摘されている<sup>12)</sup>。さらに、月経周期と ACL 組織の関連性については、ヒトの ACL にはエストロゲン受容体が存在することが報告されており<sup>13)</sup>、女性ホルモンが ACL の組織構造に影響を与えることが報告されている<sup>14)</sup>。

月経周期の中で大きな変動を示すのは卵胞ホルモン（エストロゲン）と黄体ホルモン（プ

ロゲステロン)である。通常、月経周期は卵巣ホルモンの変動により、卵胞期(低エストロゲン、低プロゲステロン)、排卵期(高エストロゲン)、黄体期(高エストロゲン、高プロゲステロン)に分類される<sup>15)</sup>。こうした月経周期に伴う性ホルモンの変動は、基質代謝、心肺機能、体温調節、心理的要因などを介して運動能力やパフォーマンスに影響を及ぼす可能性が考えられている<sup>16)</sup>。加えて、月経周期における性ホルモンの変動は、スポーツ傷害の発生率を変化させる可能性も考えられる。

柔軟性の向上と膝の過伸展は、ACL 損傷のリスクを高めることが示唆されている。これまでの研究において ACL 損傷とハムストリングスの柔軟性との間に強い関連性が認められており、ハムストリングスの柔軟性が高いほど ACL の損傷率が高いことが示されている<sup>17)</sup>。月経周期と ACL の弛緩性に関するメタアナリシスでは、卵胞期に比べて排卵期に弛緩性が高まることが報告されている<sup>18)</sup>。しかしながら、膝前部の弛緩性と ACL 損傷の関連性については、これまでに十分なコンセンサスが得られていない<sup>19)</sup>。Bell らは、股関節屈曲可動域 (range of motion ; ROM) が月経後よりも排卵期に増加していることを報告しているが、この研究のサンプル数は少ないため (n=8)、ROM 変化の要因までは明らかにされていない<sup>20)</sup>。柔軟性の指標として主に用いられる ROM には、スティフネスだけでなく、伸張刺激の痛みの閾値を反映した受動的トルクの変化も含まれる<sup>21)</sup>。ROM の最終可動域で得られる受動的トルクの値は、対象者が耐えられる最大の伸張した感覚であり、伸張刺激に対する痛み閾値と関連していると考えられている<sup>22)</sup>。プロゲステロンには疼痛抑制効果があることが報告されているため、プロゲステロンが高い黄体期には、痛みの閾値を上げることが ROM を増加要因になる可能性が考えられる。しかしながら、月経周期

におけるハムストリングスの柔軟性の経時的変化を詳細に調べた研究は報告されておらず、臨床応用に向けた十分な科学的エビデンスが蓄積されていないのが現状である。

ACL 損傷の予防において、ハムストリングスの収縮は大腿四頭筋の収縮による脛骨の前方移動を抑制するために重要とされている<sup>23)</sup>。ハムストリングスの最大筋力(等速性収縮)に対する月経周期の影響を検討した先行研究では、月経周期が最大筋力に影響しないことが示されている一方で<sup>24)</sup>、卵胞期に筋力が低下することを示した報告もあり<sup>25)</sup>、十分なコンセンサスが得られていない。その主な理由として、排卵日の違い、体温の二相性、月経前不快気分障害 (premenstrual dysphoric disorder ; PMDD) などの月経症状を考慮していないことが考えられる。

月経周期と膝関節の弛緩性や筋パフォーマンスについて検討した報告は散見されるが、対象者が月経異常を含んでいる場合も多く、排卵日の特定や月経随伴症状の有無などを考慮した研究が少ないのが現状である。さらに、月経周期における柔軟性や筋パフォーマンスの経時的な変化を同時に評価した報告はない。これらのことから、本研究では健常な若年女性における月経周期が柔軟性および筋パフォーマンスに与える影響を検討し、月経周期における柔軟性の変化と筋パフォーマンスとの関連性を明らかにすることを目的とした。

## 1-2. 用語の定義

### 柔軟性

関節の可動域範囲内で身体運動を円滑に、かつ広範囲に動かすことができる状態と定義される<sup>26)</sup>。柔軟性に影響を与える要因には、関節内外の組織や骨格筋・腱の伸張性などが含まれる。本研究では、ROM、受動的トルク、スティフネス、膝関節の弛緩性である脛骨前方移動量 (anterior tibial translation ; ATT) を用いて、柔軟性の変化を検討している。

### 関節可動域 (range of motion ; ROM)

四肢や体幹の関節を自動または他動で運動させた可動範囲のことを言う<sup>27)</sup>。柔軟性を評価する際、ROM は最も多く用いられている評価指標の一つである。ROM の変化には物理的な変化と感覚の変化の二つの要因が関与する<sup>21)</sup>。筋腱複合体の物質的な硬さや伸張性の変化はスティフネスとして表現されている。感覚の変化では、ROM の最終域に影響を与える場合が多く、対象者の許容できる最大限の伸長感の変化を stretch tolerance と表現することがある。本研究での ROM は膝関節最大伸展角度を示す。

### スティフネス

スティフネスはトルク - 角度曲線 (図 1) の傾き (Nm/deg) として定義される<sup>28,29)</sup>。本研究におけるスティフネスは、筋腱複合体における組織の粘弾性を反映している。トルク - 角度曲線が急峻である組織はスティフネスが高く、緩やかな傾きを示す組織はスティフネスが低い。スティフネスが高値であることは、筋損傷などの傷害のリスクとなることが

報告されている<sup>30)</sup>。一方、スティフネスの値が筋力やジャンプなどの筋パフォーマンスと正の相関関係にあり、瞬発的なパフォーマンス時の力の伝導に寄与することが報告されている<sup>31)</sup>。本研究では、他動的伸張により得られるトルクと対応する角度との関係から示されるトルク-角度曲線の傾きをスティフネスとしている。

### 受動的トルク

受動的トルクは、一定の角度で関節を他動的に動かした際に生じる抵抗を測定したものである。本研究では、対象筋が弛緩した状態から対象筋を伸張し、対象者が筋に痛み（伸張痛）を感じる直前の点で測定した際の抵抗を受動的トルクとする<sup>32,33)</sup>。受動的トルクの増加は、**stretch tolerance** の変化としてとらえられることが多い。したがって、関節可動域の最終域またはその付近で得られる受動的トルクの値は、伸長刺激に対する痛み閾値に関係すると考えられる<sup>34)</sup>。しかしながら、受動的トルクの最大値の変化に関するメカニズムについての詳細は明らかになっていない。本研究での受動的トルクの値は膝関節最大伸展角度の際の値<sup>35)</sup>とする。

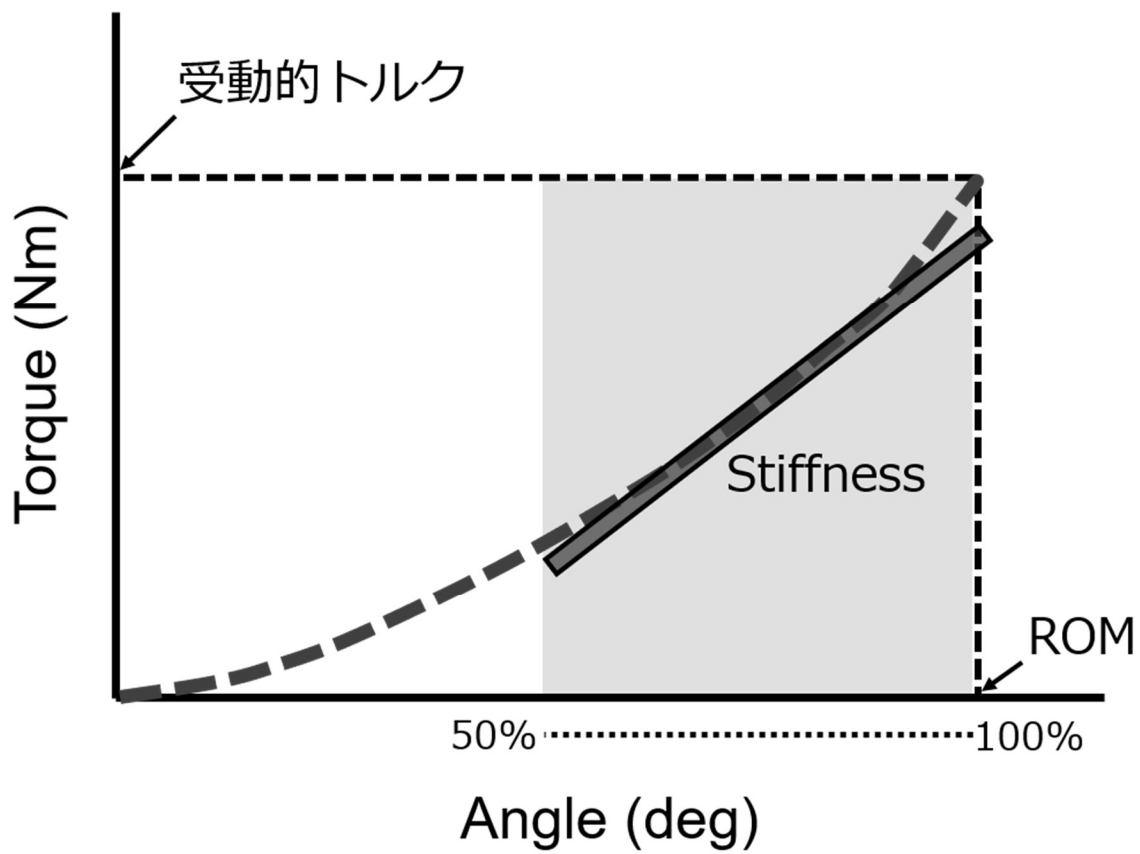


図1. トルク - 角度曲線



### 1-3. 文献研究

#### 1-3-1. 月経周期と ACL 損傷の発症リスクとの関係

ACL 損傷の発症リスクに関して、月経周期の関連を示唆する報告は散見される(表 1)。

Slauterbeck らは、女性アスリート 27 名を対象に ACL 受傷後に唾液検査および月経周期のアンケートをとった結果、卵胞期に多いことを報告している<sup>36)</sup>。Myklebust らは、ハンドボール選手 17 名を対象に受傷後のインタビューを行った結果、半数以上(53%)が黄体期に ACL 損傷が多いことを報告している<sup>37)</sup>。一方で、Wojtys らは、ACL 損傷を受傷した 69 名の女性アスリートを 24 時間以内に月経周期の詳細、性ホルモン(エストロゲン、プロゲステロン)の値を測定することで月経周期のフェーズを特定した。その結果、排卵期に ACL 損傷を発症する割合が有意に高値を示すことを明らかにしている<sup>38)</sup>。Beynonn らはスキー選手 46 名を対象に血液検査ならびに損傷時期のアンケートを調査した結果、半数以上の 57%が排卵期に ACL 損傷を発症したことを報告している<sup>39)</sup>。また、Adachi らは、18 名の女性アスリートを対象に、非接触型 ACL 損傷の時期をアンケート調査おこなった。その結果、ACL 損傷は排卵期に有意に高値を示すことを明らかにしている<sup>40)</sup>。これらの報告に鑑みると、排卵期に ACL 損傷のリスクが高い傾向が示されているが、いまだ統一した見解は得られていない<sup>18)</sup>。

さらに、性ホルモン値を抑える経口避妊薬の使用は ACL 損傷のリスクを減弱させる報告がある。Wojtys らは、ACL 損傷を受傷した 65 名の女性アスリートを対象に経口避妊薬の有無が ACL 損傷に及ぼす影響について検討した結果、経口避妊薬を服用していないグループは排卵期に ACL 損傷が多い傾向にあったが、服用しているグループは月経周期に

において影響を与えなかった（ACL 損傷分布と排卵期との関連性を減弱させる）ことを報告している<sup>38)</sup>。また、Rahr-Wagner らはデンマーク国内における医療データベースに登録された ACL 損傷により手術を必要とした 4,497 人と年齢をマッチングさせた ACL を損傷していない 8,858 人を対象として経口避妊薬の服用が ACL 損傷のリスクを減少しうるかを検証した。その結果、経口避妊薬服用者の ACL 損傷リスクは 18%減少していたことを報告した<sup>41)</sup>。また、Gray らは米国において ACL 損傷により手術を必要とした 12,819 例と年齢をマッチングさせた 38,457 例を対照群とした結果、デンマークの研究結果と同様に経口避妊薬服用者の ACL 損傷リスクは 20%程度減少していたことを報告している<sup>42)</sup>。これらの結果は、月経周期による性ホルモンの変動が ACL 損傷リスクに影響を及ぼしている可能性を示している。

表 1. 月経周期と ACL 損傷の発症リスクとの関係性

著者（発表年）	対象者	人数	測定方法	結果
Slauterbeckら <sup>36)</sup> (2002)	女性アスリート	27名	アンケート 尿検査	卵胞期に増加 (37%)
Myklebustら <sup>37)</sup> (1998)	ハンドボール選手	17名	アンケート	黄体期に増加 (58%)
Wojtysら <sup>38)</sup> (2002)	女性アスリート	69名	アンケート 尿検査	排卵期に増加 (47%)
Beynonら <sup>39)</sup> (2006)	スキー選手	46名	アンケート 血液検査	排卵前に増加(57%)
Adachiら <sup>40)</sup> (2008)	女性アスリート	18名	アンケート	排卵期に増加 (72%)

### 1-3-2. 月経周期が柔軟性に与える影響

月経周期と膝関節の弛緩性との関連については、いまだ一致した見解が得られていない(表 2)。Lee らは、健常若年女性 10 名を対象に、月経周期を 7 期に分けて膝関節の弛緩性を測定した結果、卵胞期と比較し、排卵期に弛緩性が有意に高値を示したと報告している<sup>43)</sup>。また、Shultz らは、22 名の健常若年女性を対象に、卵胞期、排卵期、黄体期で膝関節の弛緩性の変動を検討した結果、卵胞期と比較し、排卵期と黄体期でそれぞれ有意に高値を示したことを報告している<sup>44)</sup>。さらに、Khowailed らは女性ランナー 12 名を対象に血液検査による 17 $\beta$ -エストラジオール濃度と膝関節弛緩性の検査を実施した。その結果、排卵期のエストラジオール濃度のピークに反応して膝関節弛緩性が高値を示すことを明らかにしている<sup>45)</sup>。

一方で、膝関節弛緩性は月経周期に影響を与えないことを報告している先行研究も散見される。Beynnon らは、健常若年女性 17 名を対象にエストロゲンおよびプロゲステロン濃度と膝関節弛緩性との関連について調査した。その結果、膝関節の弛緩性は月経周期で影響を与えず、エストロゲンおよびプロゲステロンの周期的変動と関節弛緩性との関連については明らかにされなかったことを報告している<sup>46)</sup>。また、Hoffman らは健常若年女性 28 名を対象に唾液検査における性ホルモンの変動と膝関節弛緩性について検討したが、Beynnon らの報告と同様、膝関節の弛緩性は月経周期に影響を与えなかったことを報告している<sup>47)</sup>。以上より、月経周期のホルモンレベルと膝関節の弛緩性との間に関連性があることが示されている報告もあるが、発表された研究間の方法論的な不均一性により、導き出される結論には限界があることが述べられている<sup>19)</sup>。

月経周期と ROM との関連についての報告はごくわずかである。Bell らの研究では、健康若年女性 8 名を対象に、卵胞期と排卵期で柔軟性を測定した結果、ROM は卵胞期と比較し、排卵期で有意に高値を示したことを報告している<sup>20)</sup>。一方で、スティフネスには有意な差が認められておらず、サンプル数が少なかつた為に ROM 変動の要因は明らかになっていない。

上述のように、月経周期における柔軟性の変動を検討した報告がいくつか存在するが、本研究で用いる受動的トルクやスティフネスの変動を詳細に検討した報告はない。

表 2. 月経周期と膝関節弛緩性との関係性

著者（発表年）	対象者	人数	評価方法	月経周期の判定方法	結果
Leeら <sup>43)</sup> (2013)	健常若年女性	10名	KT-2000	自己申告	卵胞期と比較し、排卵期に増加
Shultzら <sup>44)</sup> (2005)	健常若年女性	22名	KT-2000	排卵検査薬	卵胞期と比較し、排卵期・黄体期で増加
Khowailedら <sup>45)</sup> (2015)	女性ランナー	12名	KT-2000	排卵検査薬	卵胞期初期と比較し、排卵期に増加
Beynnonら <sup>46)</sup> (2005)	健常若年女性	17名	KT-1000	排卵検査薬	月経周期における変動はなし
Hoffmanら <sup>47)</sup> (2008)	健常若年女性	28名	KT-2000	自己申告と唾液検査	月経周期における変動はなし

### 1-3-3. 月経周期が筋パフォーマンスに与える影響

月経周期と筋力の関連については、長年議論されているものの、最終的な結論には至っていない (表 3)。Janse de Jonge らは、定期的にトレーニングを実践していない健康な若年女性 15 名を対象、大腿四頭筋の最大等尺性筋力を卵泡期、排卵期、黄体期の 3 つのフェーズで測定した結果、最大筋力は月経周期に影響を与えないことを報告している<sup>48)</sup>。DiBrezza らは、18-36 歳の健康女性 21 名を対象に月経期 (月経開始 24 時間以内)、排卵期 (月経開始後 13-14 日目)、黄体期 (排卵後 10 日目) に膝関節屈曲・伸展の最大等速性筋力 (60°/秒、120°/秒、180°/秒) を測定した。その結果、月経周期において筋力の変動を認めなかったことを明らかにした<sup>49)</sup>。Lebrun らも同様に健康若年女性 16 名を対象に膝関節屈曲・伸展の最大等尺性筋力を卵泡期初期と黄体期中期において測定したが、月経周期における変動には有意な差を認めなかったことを報告している<sup>50)</sup>。

一方で、月経周期と筋力との関連性を示した報告もある。Sarwar らは、健康若年女性 10 名を対象に、月経開始日から 5 期のフェーズで大腿四頭筋の最大等尺性筋力を測定した結果、月経開始日から 12-18 日目の排卵期にあたる時期に最大筋力が有意に高値を示したことを報告している<sup>51)</sup>。また、Phillips らは若年女性 22 名を対象に、母指内転筋の等尺性最大筋力を毎日測定した結果、エストロゲンレベルが上昇する排卵期直前に筋力が増加し、排卵期には急激に低下し、筋力は月経周期の影響を受ける可能性を報告している<sup>52)</sup>。Gordon らは経口避妊薬を服用している 6 名と服用していない 11 名を対象に膝関節屈曲および伸展の等速性最大筋力が月経周期に与える影響について検討した。その結果、経口避妊薬を服用していないグループは、月経期の膝関節屈曲 (120°/秒) および伸展 (60°/

秒、120°/秒)の最大筋力が月経前(卵胞期後期)よりも有意に低値を示したことを報告している。さらに、黄体期中期のエストラジオール濃度と最大筋力との間に正の相関関係を認めたことを明らかにした。一方で経口避妊薬を服用していない者は月経周期において等速性最大筋力の変動は認められなかったことも報告した<sup>53)</sup>。これらを踏まえると、月経周期に伴う筋力の変動については、エストロゲン濃度の変動が一つの要因として挙げられており、エストロゲンが筋細胞内のクロスブリッジ等の収縮特性に影響を与えている可能性が考えられている<sup>54)</sup>。

月経周期とジャンプパフォーマンスとの関連性についても、十分なコンセンサスが得られていない(表4)。Daviesらは、12名の女性を対象に月経期、卵胞期、黄体期で立ち幅跳びを計測した結果、有意な差が認められなかったと報告している<sup>55)</sup>。さらに、Giacomoniらは、7名の女性アスリートを対象とし、卵胞期初期、卵胞期中期、黄体期で垂直飛びを測定した結果、月経周期における変動は認めなかったことを報告している<sup>56)</sup>。Ekenrosらは健常若年女性17名を対象に水平飛び(ホップテスト)が月経周期に与える影響を検討した。その結果、月経周期の変動において有意な影響を与えることはなかったことを報告している<sup>57)</sup>。Fridenらも健常若年女性10名を対象にホップテストが月経周期に与える影響を検討しているが、Ekenrosらの報告と同様、月経周期において変動はなかったことを報告した<sup>58)</sup>。Julianらはサッカー選手9名を対象に垂直跳び(カウンタームーブメントジャンプ)が月経周期に与える影響を検討した。その結果、過去の先行研究と同様、月経周期に与える影響はなかったことを報告している<sup>59)</sup>。



表 3. 月経周期と筋力との関係性

著者（発表年）	対象者	人数	評価指標	月経周期の判定方法	結果
Janse de Jongeら <sup>48)</sup> (2001)	健常若年女性	15名	大腿四頭筋 最大等尺性筋力	基礎体温 血液検査	月経周期における変動はなし
DiBrezzaら <sup>49)</sup> (1991)	健常女性 (18-36歳)	21名	膝関節屈曲・伸展 最大等速性筋力	排卵検査薬	月経周期における変動はなし
Lebrunら <sup>50)</sup> (1995)	健常若年女性	16名	膝関節屈曲・伸展 最大等速性筋力	血液検査	月経周期における変動はなし
Sarwarら <sup>51)</sup> (1996)	健常若年女性	10名	大腿四頭筋 最大等尺性筋力	月経初日より推計	排卵期に有意に高値を示した
Phillipsら <sup>52)</sup> (1996)	健常若年女性	22名	母指内転筋 等尺性最大筋力	排卵検査薬 血液検査	排卵期直前に増加し、排卵期に低下する
Gordenら <sup>53)</sup> (2013)	若年女性	6名(経口避妊薬服用) 11名(経口避妊薬未服)	膝関節屈曲・伸展 最大等速性筋力	唾液検査	経口避妊薬服用者は変動なし 未服用者は月経期に低値を示した

表 4. 月経周期とジャンプパフォーマンスとの関係性

著者（発表年）	対象者	人数	評価指標	月経周期の判定方法	結果
Davisら <sup>55)</sup> (1991)	健常若年女性	12名	立ち幅跳び	月経開始日からの推計	月経周期における変動はなし
Giacomoniら <sup>56)</sup> (2000)	健常若年女性	7名	垂直跳び (スクワットジャンプ)	血液検査	月経周期における変動はなし
Ekenrosら <sup>57)</sup> (2013)	健常若年者	17名	水平飛び (ホップテスト)	月経開始日からの推計	月経周期における変動はなし
Fridenら <sup>58)</sup> (2003)	健常若年女性 (非アスリート)	10名	水平飛び (ホップテスト)	血液検査 排卵検査薬	月経周期における変動はなし
Julianら <sup>59)</sup> (2017)	サッカー選手	9名	垂直跳び (カウンタームーブメントジャンプ)	血液検査	月経周期における変動はなし

#### 1-4. 本研究の課題と目的

本論文は以下の2つの研究課題から構成されている。

##### 研究課題1：健常な若年女性における月経周期と柔軟性の関連性

柔軟性の指標である ROM、受動的トルク、スティフネスと膝関節弛緩性の指標である脛骨前方移動量を用いて、健常な若年女性における月経周期と柔軟性の関連性を明らかにすることを目的とした。

##### 研究課題2：健常な若年女性における月経周期と筋パフォーマンスの関連性

最大等尺性膝関節伸展筋力と筋活動量、Hop Test を筋パフォーマンスの評価指標とし、月経周期と筋パフォーマンスの関連性を明らかにすることを目的とした。加えて、研究課題1で明らかになった排卵期のスティフネス低下と月経周期における筋パフォーマンスの変動との関連性を明らかにすることを目的とした。

## 第2章 研究課題1：健常な若年女性における月経周期と柔軟性の関連性

### 2-1. 緒言

月経周期と膝関節弛緩性についての報告は多く散見されるが、筋の柔軟性の変動を詳細に検討した報告は少なく、月経周期におけるハムストリングスのスティフネスの変化を明らかにした先行研究はない。Bell ら<sup>20)</sup>は、股関節屈曲可動域 (ROM) が月経後よりも排卵期に増加したと報告しているが、サンプル数が少ないため、ROM 変化の要因は明らかになっていない。

柔軟性の指標として用いられる ROM には、スティフネスだけでなく、伸張刺激の痛みの閾値を反映した受動的トルクの変化も含まれる<sup>21)</sup>。ROM の最終可動域で得られる受動的トルクの値は、対象者が耐えられる最大の伸張した感覚であり、伸張刺激に対する痛み閾値と関連していると考えられている<sup>22)</sup>。また、プロゲステロンには疼痛抑制効果があることが報告されており、Gintzler らは、プロゲステロンの分泌が持続し、エストロゲンが低下した擬似妊娠ラットでは、疼痛閾値が上昇したと報告している。したがって、プロゲステロンが高い黄体期には、痛みの閾値を上げることが ROM を増加の要因になる可能性がある<sup>60)</sup>。

本研究の仮説として、エストロゲンが高い排卵期と黄体期にはスティフネスが減少し、プロゲステロンが高い黄体期には受動的トルクが増加すると想定した。

## 2-2. 方法

### 2-2-1. 対象者

本研究に必要なサンプルサイズの推定には、G\*Power (バージョン 3.1.9.6 for macOS ; Heine-Universität, Düsseldorf, Germany) を用いた。類似した先行研究では、卵胞期と排卵期で ROM に有意差があることを示した効果量 (Cohen's d) は 0.89 であった<sup>20)</sup>。したがって、必要な参加者数は、危険率 ( $\alpha$ ) = 0.05、検出力 ( $1 - \beta$ ) = 0.80、効果量 (d) = 0.89 で、12 名と推定された。以上から、ドロップアウトの可能性を考慮して、本研究に参加する健常若年女性 20 名を募集した。取り込み基準は、正常な月経周期 (月経間隔 25 ~ 35 日) を有するものとした<sup>61)</sup>。除外基準は、下肢関節拘縮がある者、腰または下肢の外科手術歴がある者、神経疾患がある者、月経前不快気分障害 (premenstrual dysphoric disorder ; PMDD) を有する者、ホルモン剤または筋肉に影響を与える薬剤の服用歴がある者、経口避妊薬の使用歴がある者、競技スポーツに参加している者、定期的にレジスタントトレーニング、ストレッチングを行っている者とした。また、対象者には実験期間中は激しい運動を控えるよう伝えた。本研究は、帝京平成大学の人を対象とした研究に関する倫理委員会の承認を得て行った (承認番号 : 28-128)。すべての対象者は、本研究に参加する前に、対象者に対して研究趣旨、本研究に参加した場合に予測される利益と不利益、倫理的配慮、自由意志の尊重と同意後の撤回の自由、個人情報保護について署名および口頭にて説明をし、書面にて同意が得られたもののみ実験を行った。

## 2-2-2. 実験手順

参加者は、実験の2周期前から基礎体温計（WOMAN<sup>®</sup> C531；テルモ株式会社，東京，日本）を用いて体温を測定した。対象者には、毎朝起床後すぐに、仰臥位で舌下の体温を測定するように指示した。また、測定前には、PMDD 評価尺度を用いた自己記入式の質問票（表5）にてスクリーニングを実施した<sup>62,63</sup>。先行研究に基づき、(1) PMDD 評価尺度で、1-4の症状のうち、「4. とても強くあった」が1つ以上存在する、(2) (1)に加え、Iの項目1-12の症状のうち「3. あった」か「4. とても強くあった」が4つ以上含まれる、(3) IIの項目1-5の症状のうち「4. とても強くあった」が1つ以上含まれる、の以上3つの条件を満たしたものをPMDDの疑いとした<sup>62</sup>。また、基礎体温が二相性<sup>64</sup>であることが確認され、PMDDではない対象者を募り、柔軟性を測定した。測定は、卵胞期、排卵期、黄体期の順に行った。卵胞期は月経終了後3日以内に測定し、黄体期は次回月経開始予定日の6～8日前に測定した<sup>65</sup>。排卵期は、排卵検査薬が陽性となってから2日以内に排卵する確率が91.1%と報告されていることから、陽性となってから2～3日後に測定した<sup>66</sup>。対象者には尿中排卵予測キット（dotest LH<sub>a</sub>；ロート製薬株式会社，大阪，日本）を配布し、次回月経予定日の17日前から毎日24時間ごとに検査を行った。対象者には、テストストリップが排卵の陽性を示したときに連絡するよう指示した。

評価指標である右ハムストリングスの柔軟性は、膝の伸展 ROM、受動的トルク、スティフネスを測定し、膝関節の弛緩性は脛骨前方移動量（anterior tibial translation：ATT）を測定した。すべての参加者は、最初の測定の前にオリエンテーションを実施した。

表 5. PMDD 評価尺度 (文献 49 より引用改変)

I. 下記のような症状が月経の始まる1~2週間前から始まり、しかもその症状は月経が始まると2-3日で消失するということが、この1年間の月経周期のほとんどの期間にありましたか？該当する欄の数字に○をしてください。

症状	なかった	少しあった	あった	とても強くあった
1. 抑うつ気分になる、または絶望的な気分になる。	1	2	3	4
2. 不安または緊張する。	1	2	3	4
3. 涙もろくなる。または突然悲しくなる。	1	2	3	4
4. 怒りっぽくなる。またはイライラする。または人にあたる。	1	2	3	4
5. 興味がなくなる(仕事、学校、趣味など)。	1	2	3	4
6. 集中力が低下する。	1	2	3	4
7. 疲れやすくなる。または気力がなくなる。	1	2	3	4
8. 食欲が増す。または特定の食べ物(例:甘いものなど)が欲しくなる。	1	2	3	4
9. いつもより眠りすぎる。	1	2	3	4
10. いつもより眠れなくなる。	1	2	3	4
11. 自分をコントロールできない感じになる。	1	2	3	4
12. 下記の症状のどれかが現れる。 乳房の痛みや張り、腹部の張る感じ、腹痛、頭痛、関節痛、筋肉痛、 身体がむくんだ感じ、体重増加、便秘	1	2	3	4

II. 上記に挙げた症状が1つでもあった方(少しあった~とても強くあったに○をした人)に伺います。その症状が出現している間、下記の日常活動に支障がでたかお答えください。

	なかった	少しあった	あった	とても強くあった
1. 仕事の能率に支障が出た(職場や学校)。	1	2	3	4
2. 家事に支障が出た。	1	2	3	4
3. 職場の人との関係に支障がでた(関係に支障がでる例:つきあいを避ける、人にあたる、けんかをするなど)。	1	2	3	4
4. 家族との関係に支障がでた。	1	2	3	4
5. 友人・知人との関係に支障がでた。	1	2	3	4

## ROM、受動的トルク、スティフネス

実験は帝京平成大学の研究室で行われ、室温は終始 26°C に保たれた状態で実施した。先行研究結果に基づき、ハムストリングスを効率的に伸張することができるようにされている座位を用いた<sup>67)</sup> (図 2)。対象者は、等速性運動機器 (Primus RS; BTE Technologies, Hanover, MD, USA) のシートを最大限に上げて座った。楔型クッションを体幹の後ろに挿入し、背もたれと座面の角度を約 60° に設定した。対象者の胸部、骨盤、右大腿遠位部は、非伸縮性ストラップで固定し、膝関節は等速性運動機器の回転軸と一致させた。レバーアームは脛骨内果上端に合わせ、ストラップで固定した。

柔軟性の評価指標である ROM、受動的トルク、スティフネスを測定するために、トルク - 角度曲線を得た (図 1)。トルク - 角度曲線は、等速性運動機器を用い、測定開始肢位から膝関節最大伸展位 (大腿後面に痛みが生じる直前) まで毎秒 5 度の角速度で他動的に伸展させ、経時的に得られるトルクと対応する角度との関係から得られる曲線とした。これらの評価指標の測定が完全に受動的であることを確認するために、膝伸展時のハムストリングスの筋電活動がないことを確認した。なお、毎秒 5 度の角速度で他動的に筋を伸張させた場合、反射的な筋収縮が生じないことが先行研究で報告されており<sup>68,69)</sup>、本研究と類似した先行研究でも同角速度は採用されている<sup>32,67,70)</sup>。外側と内側のハムストリングスの筋電活動は、MyoSystem 1200 (Noraxon, Arizona, USA) を用いて測定した。使用した電極は Blue Sensor M-00-s (Ambu, Ballerup, Denmark) で、電極間の距離は 35mm に設定した。電極は、外側のハムストリングスでは坐骨結節と脛骨の外側顆を結んだ線の中央に、内側のハムストリングスでは坐骨結節と脛骨の内側顆を結んだ線の筋腹中央に貼付

した<sup>71)</sup>。等速性運動機器を連続受動運動モードに設定し、トルクと角度の信号を連続的に測定・記録した。重力補正は、以前のプロトコルに従って、トルク-角度曲線を測定する際には行わなかった<sup>67)</sup>。

ROM (°) は、測定開始肢位 (図 2A) からの最大膝伸展角度 (図 2B) とし、受動的トルク (Nm) は、痛みの発生時の直前のトルクとした<sup>67)</sup>。スティフネス (Nm/°) は、トルクと角度の関係から最小二乗法を用いて算出した回帰直線の傾きとし、同じ膝関節伸展角度範囲を用いて算出した<sup>67)</sup>。スティフネスを算出する膝関節角度は、卵胞期、排卵期、黄体期の 3 つのトルク - 角度曲線のうち、最小であった膝関節最大伸展角度を 100%とし、その 50 から 100%膝関節最大伸展角度までの範囲とした。



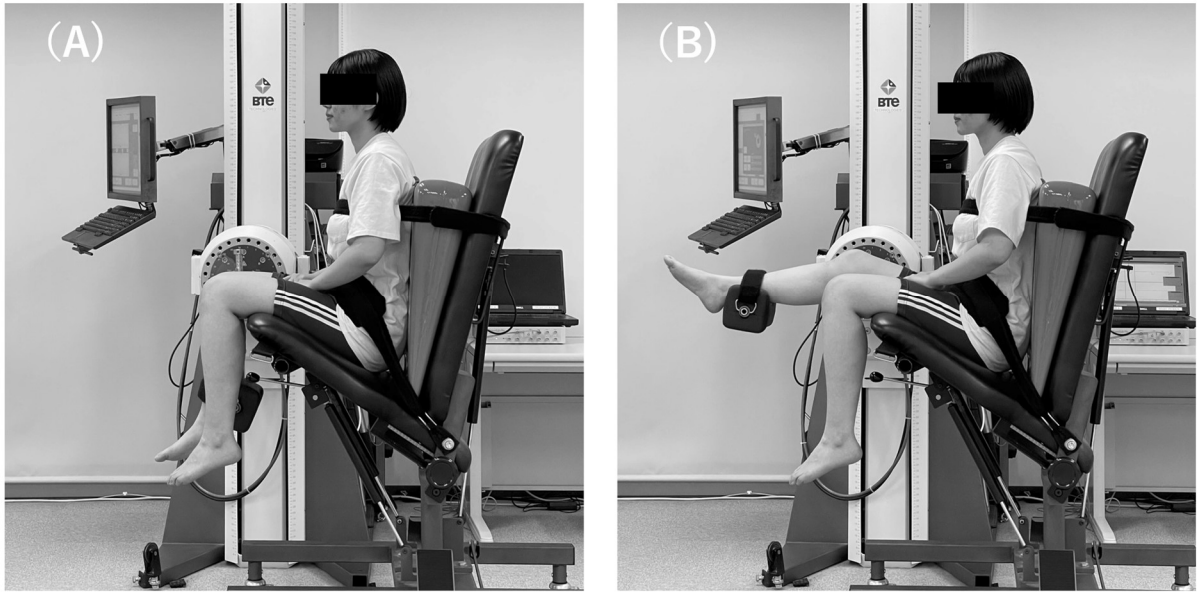


図 2. トルク - 角度曲線の測定肢位

(A) 測定開始肢位

(B) 最大膝伸展角度 (対象者が痛みを感じる直前)

### 脛骨前方移動量 (anterior tibial translation : ATT)

膝関節の弛緩性は、ATT を測定した。ATT は簡易型脛骨前方移動量測定装置 Knee Measurement Instrument (KMI ; アルケア株式会社, 東京, 日本) を用いて測定した。対象者を仰臥位にして、大腿部の下に枕を置き、膝関節を 25 度屈曲位にして測定した。測定方法は、KMI パッドを膝蓋骨の中心に当て、下腿にベルトを巻いて固定し、KMI を下腿の近位脛骨のところで一緒に持ち、手動で最大の力で前方に引っ張り、1mm 単位で目盛りを測定した<sup>72)</sup> (図 3)。なお、KMI は KT-1000s との間に高い相関が示されていることが報告されている<sup>72)</sup>。



図 3. 脛骨前方移動量 (ATT) の計測方法

#### 2-2-4. 再現性の検討

本研究のデータ測定に先立ち、すべての評価指標のテスト・リテスト信頼性を調べるために級内相関係数 (Intraclass correlation coefficients : ICC) と変動係数 (Coefficient of Variation : CV) を算出した。対象者は健常若年男性 10 名とし、テストは 2 回実施し、各測定間に 24 時間以上の時間を設け、別日に実施した。ICC と CV を算出した結果、すべての測定項目で良好な再現性が認められた (ROM : 0.89 [ICC], 2.7 % [CV]、受動的トルク : 0.9, 3.1 %、スティフネス : 0.91、2.7 %, ATT : 0.83、2.8 %) <sup>73, 74)</sup>。

#### 2-2-5. 統計解析

Shapiro-Wilk 検定を用いて、データの正規性を評価した。その結果、ROM とスティフネスは正規分布していたが、受動的トルクは正規分布していなかった。そこで、統計処理はノンパラメトリック手法を用いた。卵胞期、排卵期、黄体期の間の有意差を確認するために、Wilcoxon の符号付順位和検定 (Bonferroni の不等式による調整) を適用した。統計解析は、統計ソフトウェア (SPSS Statistics 27, IBM Corp. Armonk, NY, USA) を用いて行った。すべての検定の有意水準は 5%未満とした。また、データは中央値と四分位範囲で表した。効果量 (r) は、Wilcoxon Z スコアをサンプルサイズの平方根で割って算出した ( $r=Z/\sqrt{N}$ )。この効果量の基準は、小効果 : 0.1 以上、中効果 : 0.3 以上、大効果 : 0.5 以上と解釈されている <sup>75)</sup>。

### 2-3. 結果

本実験では、データ測定前に3名の対象者が基礎体温の測定において二相性を示さなかった。また、2名が排卵検査薬で陽性反応を示さなかった。これら5名の参加者を除外し、15名の対象者（年齢  $21.0 \pm 1.0$  歳、身長  $157.6 \pm 2.6$  cm、体重  $51.5 \pm 2.6$  kg、BMI  $20.7 \pm 3.0$  kg/m<sup>2</sup>）で解析を行った（図4）。また、PMDD 評価尺度を用いたアンケートの結果、PMDD の可能性を示す対象者はいなかった。月経周期の平均期間は、全体で  $30.5 \pm 3.2$  日であった。卵胞期、排卵期、黄体期の測定日は、それぞれ月経開始日（月経開始日を1日目とする）から  $6.5 \pm 1.3$  日、 $18.3 \pm 2.2$  日、 $24.8 \pm 2.5$  日に実施した。

ROM、受動的トルク、スティフネス、ATT の結果を表6に示す。ROM は、卵胞期に比べて排卵期において有意に高値を示した ( $r = 0.88, P < 0.01$ )。さらに、ROM は卵胞期に比べて黄体期に有意に高値を示した ( $r = 0.88, P < 0.01$ )。受動的トルクは、卵胞期に比べて黄体期に有意に高値を示した ( $r = 0.85, P < 0.01$ )。スティフネスは、卵胞期に比べて排卵期に有意に低値を示した ( $r = 0.72, P < 0.05$ )。しかし、卵胞期と黄体期では、スティフネスの値に有意な差は認められなかった ( $r = 0.37, P = 0.10$ )。さらに、ATT は、3つのフェーズ間でそれぞれ有意な差は認められなかった。

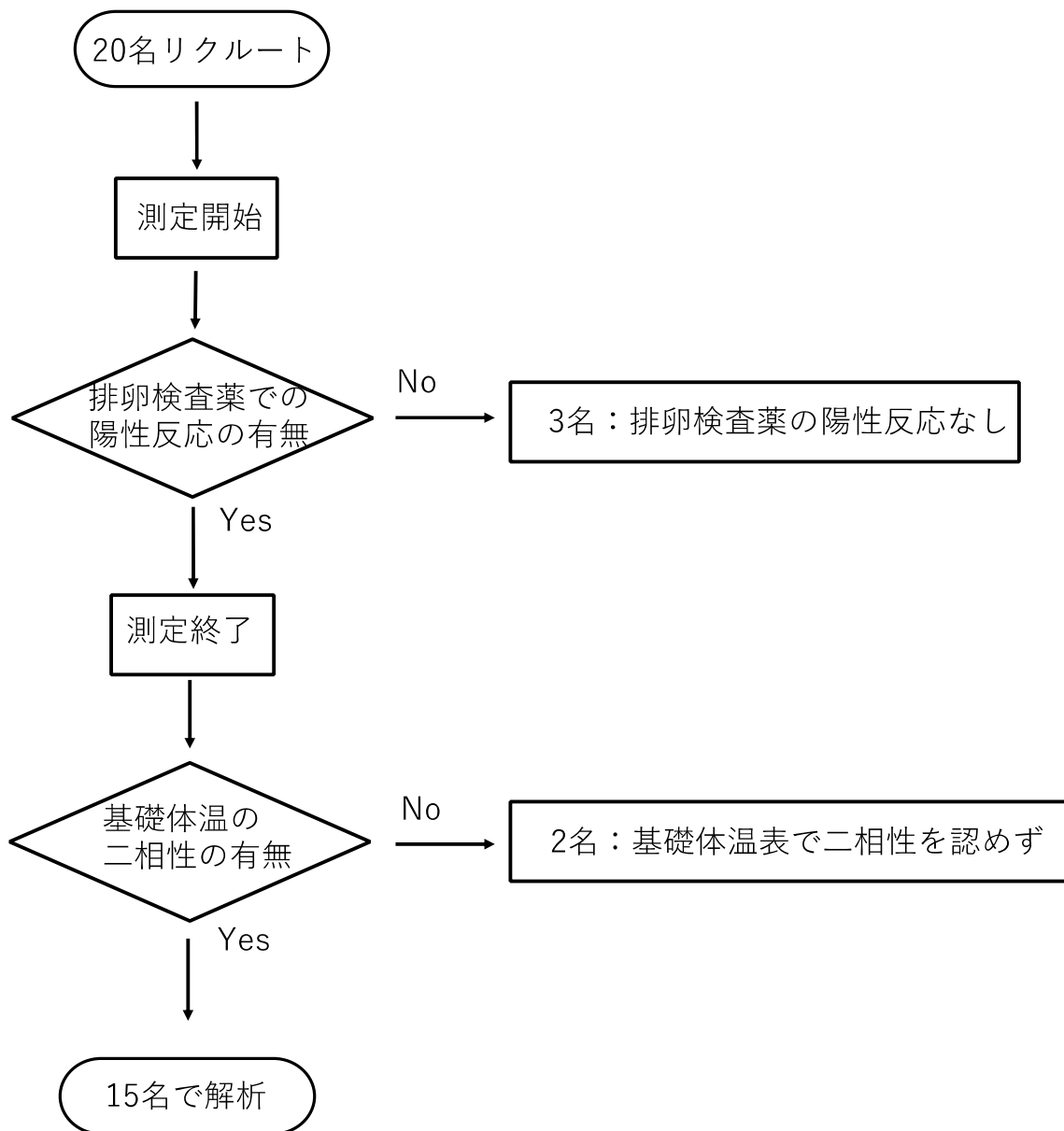


図 4. 研究課題 1 の実験手順

表 6. 月経周期における ROM、受動的トルク、スティフネス、脛骨前方移動量の変化  
(中央値 [四分位値])

評価指標	卵胞期	排卵期	黄体期
関節可動域 (°)	76.0 (75.0-81.0)	81.0 (81.0-89.0)*	81.0 (79.0-89.0)*
受動的トルク (Nm)	21.5 (17.9-24.0)	21.3 (19.2-25.9)	21.9 (19.4-26.1)*
スティフネス (Nm/°)	0.29 (0.27-0.33)	0.28 (0.22-0.34)*	0.28 (0.27-0.31)
脛骨前方移動量	7.0 (5.0-8.5)	7.0 (6.0-8.0)	8.0 (8.5-9.0)

\* : 卵胞期の値との有意差 ( $P < 0.05$ )

## 2-4. 考察

本研究では、月経周期が ROM、受動的トルク、スティフネス、ATT に及ぼす影響を検討した。その結果、卵胞期と比較し、排卵期には ROM が高値を示し、スティフネスが低値を示した。さらに、黄体期には ROM と受動的トルクが高値を示した。排卵期には、エストロゲンの血中濃度が 200~300pg/ml 上昇すると、黄体形成ホルモンのサージ（黄体形成ホルモンが脳下垂体前葉から一過性に放出される現象）が 2~3 日起こり<sup>76)</sup>、排卵予測キットでは陽性となる。さらに、血中エストロゲン濃度の上昇から関節弛緩性の変化までには約 3 日の時間差があることから<sup>77)</sup>、今回の実験では高エストロゲン状態の排卵期を特定できたと考えられる。

エストロゲン濃度が高い状態の排卵期には、スティフネスの低下が見られた。排卵期のスティフネスの低下には、エストロゲンが関与している可能性が考えられる。エストロゲンは、ACL<sup>13)</sup>だけでなく、骨格筋にも受容体があることが知られている<sup>78)</sup>。さらに、Kumagai らは、トップレベルのアスリートを対象に、ハムストリングスのスティフネスとエストロゲン受容体との関連性を調査し、エストロゲン受容体 1 遺伝子多型 (rs2234693) がスティフネスを低下させることを報告している<sup>79)</sup>。その結果、エストロゲン受容体の多型を持つアスリートは、ハムストリングスのスティフネスが低いことが示唆されている。したがって、本研究の結果は、排卵期のエストロゲンが低いスティフネスを説明する要因である可能性を示している。今回の結果とは対照的に、Bell らは卵胞期および排卵期にハムストリングスのスティフネスが変化しなかったことを報告している<sup>20)</sup>。この理由として考えられるのは、先行研究では対象者が 8 名と少なく、効果量も小さかったことが挙げら



れている。一方で、本研究の仮説に反して、黄体期におけるスティフネスは卵胞期と比較して有意な差を認めなかった。先行研究では、エストロゲンとハムストリングスのスティフネスに負の相関があることが報告されている<sup>80)</sup>。本研究の結果とこれらの先行研究の結果と合わせて考えると、黄体期のエストロゲン濃度は、卵胞期よりは高いが、排卵期よりは低いため<sup>81)</sup>、スティフネスには反映されなかったのではないかと考えられる。一方、受動的トルクはプロゲステロンが高い黄体期に高値を示した。最終 ROM の受動的トルクは、伸張刺激に対する痛みの閾値であり、**stretch tolerance** を反映しており、対象者の伸張感覚の最大許容変化量の指標となる<sup>35)</sup>。これまでのヒトを対象とした研究では、排卵後に分泌されるプロゲステロンが痛みを抑制することが報告されている。Vincent らは、機能的磁気共鳴画像法を用いて、プロゲステロンと痛みの関係を調べた結果、プロゲステロン濃度が高いと、痛み刺激に伴う不快感が軽減されることを報告している<sup>82)</sup>。また、Raja らは、疼痛を「典型的には、実際のまたは潜在的な組織の損傷によって引き起こされる、またはそれに類似した、回避的な感覚および感情の経験」と定義している (Raja SN, et al., 2020, p.1977)<sup>83)</sup>。さらに、Coronel らは、脊髄損傷 (spinal cord injury ; SCI) 後のラットにおける痛みとプロゲステロンの関連性から、プロゲステロンは SCI 後の神経因性疼痛を抑制し、中枢神経系にも作用すると報告している<sup>84)</sup>。本研究における痛みの発生時の受動的トルクは、痛みを引き起こすことはないが、不快な伸張状態を反映していると考えられる。したがって、プロゲステロン濃度が高い黄体期に受動的トルクを測定したため、痛み刺激に伴う不快感を軽減することで、疼痛閾値が上昇したと考えられる。

以上のことから、排卵期と黄体期の ROM が卵胞期に比べて増加した要因は、それぞれ

異なる原因が考えられる。排卵期に ROM が増加したことで、エストロゲンの増加によるスティフネスが減少し、ROM が増加した。黄体期の ROM の増加は、プロゲステロンの増加による受動的トルクの増加（伸張耐性の変化）により ROM が増加したことによるものと考えられる。

本研究では、月経周期の各時期で ATT には有意な差が認められなかった。月経周期が膝前部の弛緩性に影響するか否かを検討したシステマティックレビューでは、卵胞期に比べて排卵期と黄体期に弛緩が増加することが示されている<sup>19)</sup>。一方で Maruyama らは、膝過伸展群では、排卵期には卵胞期初期に比べて膝前部の弛緩度が有意に増加したが、膝の過伸展がないグループでは、月経周期の影響を受けなかったことを報告している<sup>85)</sup>。本研究では、対象者全員が膝の過伸展を認めていなかった。そのため、本研究の対象者では月経周期における膝関節の弛緩性については影響を及ぼさなかった可能性が考えられる。

## 2-5. 結論

健常な若年女性を対象に、卵胞期、排卵期、黄体期におけるハムストリングスの柔軟性と膝関節の弛緩性を比較・検討した結果、排卵期と黄体期では、卵胞期に比べて ROM が高値を示した。さらに、排卵期のスティフネスの減少と黄体期の受動的トルクの増加が ROM の増加に寄与していることが示された。加えて、ハムストリングスの柔軟性と比較して膝関節の弛緩性は月経周期の影響を受けないことが示唆された。本研究の結果より、月経周期が柔軟性に影響を及ぼすことが明らかとなった。

## 第3章 研究課題2：健常な若年女性における月経周期と筋パフォーマンスの関連性

### 3-1. 緒言

研究課題1では、月経周期と柔軟性の関連性について検討し、スティフネスは排卵期に低値を示すことが明らかになった。低いスティフネスは力の伝導効率の低下を介して筋力低下を引き起こすことが報告されている<sup>86)</sup>。ハムストリングスの最大筋力に対する月経周期の影響を調べた先行研究によると、月経周期が最大筋力に影響しないと報告した研究<sup>24)</sup>がある一方で、卵胞期に筋力が低下すると報告した研究もあり<sup>25)</sup>、十分なコンセンサスが得られていない。月経周期とジャンプパフォーマンスの関連性については、月経周期との関連性は弱いことが示唆されている<sup>55,56)</sup>。

しかし、研究課題1より明らかになった排卵期におけるスティフネスの低下は、筋力やジャンプパフォーマンスに影響を与える可能性が考えられるが、月経周期における柔軟性と筋パフォーマンスを同時に評価した報告はなく、その関係性については不明である。

このことから、本研究課題の目的は、1) 月経周期と筋パフォーマンスの関連性を明らかにすること、2) 柔軟性の変化と筋力の変化の関連性を明らかにすることである。本研究課題では、1) スティフネスの低値が予想される排卵期には筋パフォーマンスも低値を示し、2) 柔軟性の指標であるスティフネスと筋力の間には負の相関関係があると仮説を設定した。

## 3-2. 方法

### 3-2-1. 対象者

本研究に必要なサンプルサイズの推定には、G\*Power (バージョン 3.1.9.6 for macOS ; Heine-Universität, Düsseldorf, Germany) を用いた。研究課題 1 の結果より、卵胞期と排卵期のスティフネスに有意差がある (卵胞期と比較して排卵期のスティフネスが有意に低値を示す) ことを示した効果量 (Cohen's d) は 0.72 であった。したがって、本研究で必要な対象者数は、危険率 ( $\alpha$ ) = 0.05、検出力 ( $1-\beta$ ) = 0.80、効果量 (d) が 0.72 の場合、15 名と推定された。ドロップアウトの可能性を考慮して、本研究に参加する健常若年女性 22 名を募集した。さらに、対照群として、定期的に運動をしていない健常若年男性 8 名を募集した。適格基準は、研究課題 1 と同様にした。実験期間中は激しい運動を控えるように求めた。本研究課題は、研究課題 1 と同様、帝京平成大学の人を対象とした研究に関する倫理委員会の承認を得た (承認番号 : 28-128)。すべての参加者は、本研究に参加する前に、研究の目的と実験手順について説明を実施した。また、すべての参加者は、書面によるインフォームド・コンセントを得て、研究に参加した。

女性の対象者は、研究課題 1 と同様に基礎体温が二相性であることが確認され、PMDD ではない参加者を募り、データ測定を実施した。測定は、卵胞期、排卵期、黄体期の順に行った。また、測定のタイミングは研究課題 1 と同様とした。一方、対照群である男性参加者の測定は、1 週間の間隔をあけて計 3 回実施した。

### 3-2-2. 実験手順

研究課題 1 と同様、反復測定デザインを用いた実験を行った。参加者は、卵胞期、排卵期、黄体期の順に測定をそれぞれ実施した。評価指標は、膝伸展の ROM、受動的トルク、スティフネス、最大随意等尺性筋力、筋電図平均振幅、Single Hop Test、Triple Hop Test とした。

#### ROM、受動的トルク、スティフネス

実験は室温 26°C に保たれた実験室で実施した。柔軟性の指標である ROM、受動的トルク、スティフネスは研究課題 1 と同様の手法で実施した。

#### 最大等尺性筋力

最大等尺性筋力 (Nm) は、腹臥位で膝関節を 90° 屈曲させて測定した。測定値は最大値を採用した。参加者の疲労の影響を避けるために、測定は 1 回のみ行った。最大筋力は、等速性運動機器 (Primus RS; BTE Technologies, Hanover, MD, USA) を用いて、約 3 秒間、最大の力で力を発揮したときに定義した。参加者は台の上に腹臥位になり、胸と骨盤を非伸縮性のストラップで固定した。右膝関節の中心を等速性運動機器の回転軸と一致させ、右足首をダイナモメーターのレバーアームアタッチメントに固定した。対象者には言葉による声掛けを実施した (図 5)。



図 5. 最大等尺性屈曲筋力の測定方法

## 筋電図平均振幅

MyoSystem 1200 (Noraxon, Scottsdale, AZ, USA) を用いて、外側および内側のハムストリングスから、最大等尺性収縮時の EMG 活動を、サンプリング周波数 1 kHz で記録した。電極を設置する前に、電極下の皮膚を剃り、アルコールで洗浄した。電極は、Ag/AgCl センサー (Blue Sensor M-00-s, Ambu, Ballerup, Denmark) を用い、電極間の距離は 35 mm とした。電極は、外側ハムストリングスでは坐骨結節と脛骨の外側顆を結んだ線の中央に、内側ハムストリングスでは坐骨結節と脛骨の内側顆を結んだ線の中央に貼付した<sup>71)</sup>。最大等尺性筋力時の EMG 信号を PC に保存し、ソフトウェア (MyoResearch, Noraxon) を用いて 100 ミリ秒間隔で二乗平均平方根 (RMS) 振幅値を算出した。データは、3 秒間の最大等尺性収縮時に得られた測定値を用いた。

## Single hop test、Triple hop test

ジャンプパフォーマンスの評価指標として、Single hop test、Triple hop test を実施した<sup>87)</sup>。対象者は、右片脚立位の状態から前方へ Single hop test は 1 回、Triple hop test は 3 回連続で跳躍し、着地後にバランスを崩さずに支持できたものを成功試技とした。スタートラインから跳躍の着地における踵との距離を 1 cm 単位で計測し、3 回測定した際の最大値をそれぞれ採用した。

### 3-2-3. 再現性の検討

本研究のデータ収集に先立ち、級内相関係数 (ICC) および変動係数 (CV) を算出する

ことにより、すべての評価指標のテスト・リテスト信頼性を確認した。参加者は男性 8 名とした。2 つのテストは、別日に実施した。ICC と CV を算出した結果、すべての測定項目で良好な再現性が認められた (ROM:0.97 [ICC], 2.2 % [CV], 受動的トルク:0.90, 5.8 %, スティフネス:0.95, 6.8 %, 等尺性筋力:0.98, 2.4 %, RMS [外側ハムストリングス]:0.92, 7.7 %, RMS [内側ハムストリングス]:0.97, 7.3 %) <sup>73, 74)</sup>。

#### 3-2-4. 統計解析

Shapiro-Wilk 検定を用いてデータの正規性を評価し、すべての参加者のデータが正規分布であることを確認した。それぞれの群内の卵胞期、排卵期、黄体期の間 (男性群は 1 回目・2 回目・3 回目の間) の分析には、反復測定分散分析を用いた。事後検定には Bonferroni 法を用いた。さらに、筋力の変化率とスティフネスおよび筋活動の変化率との関連性は Pearson の積率相関係数を用いた。統計解析には、統計ソフト (SPSS Statistics 27, IBM Corp., Armonk, NY, USA) を用いた。有意水準は、5%未満とした。全ての結果は平均値 ± 標準偏差 (SD) で表した。効果量 ( $\eta^2$ ) は、級間偏差平方和を全体の偏差平方和で割って算出した ( $\eta^2 = SS_{\text{effect}} / SS_{\text{total}}$ )。この効果量の基準は、小効果:0.01 以上、中効果:0.06 以上、大効果:0.14 以上と解釈されている <sup>88)</sup>。



### 3-3. 結果

この実験のデータ測定では、4名が排卵陽性反応を示さなかった。さらに、2名の参加者は、測定周期において基礎体温の二相性を示さなかった。これらの参加者6名のデータを除外し、16名の女性参加者（年齢  $21.0 \pm 1.0$  歳、身長  $159.5 \pm 4.7$  cm、体重  $52.5 \pm 5.0$  kg、BMI  $20.6 \pm 1.9$  kg/m<sup>2</sup>）のデータで解析を行った（図6）。PMDD 評価尺度を用いた自己記入式アンケートの結果、PMDD の疑いを示す対象者はいなかった。月経周期の平均期間は、全体で  $31.1 \pm 2.4$  日であった。女性の卵胞期、排卵期、黄体期の測定は、月経開始日（月経開始日を1日目とする）からそれぞれ  $7.5 \pm 1.6$  日、 $19.8 \pm 2.5$  日、 $26.1 \pm 2.2$  日に実施し、参加者全員が本研究のプロトコルに従って測定を行った。また、8名の男性参加者（年齢  $21.1 \pm 0.8$  歳、身長  $171.0 \pm 6.9$  cm、体重  $64.8 \pm 10.8$  kg、BMI  $21.1 \pm 0.8$  kg/m<sup>2</sup>）は全ての測定を完遂した。

ROM、受動的トルク、スティフネス、最大等尺性筋力、筋電図平均振幅、Single Hop Test 及び Triple Hop Test の結果を表7に示す。女性グループでは、ROM と受動的トルクは卵胞期と比較し、排卵期にそれぞれ有意に高値を示した（ $\eta^2 = 0.79, P < 0.05$ ； $\eta^2 = 0.38, p < 0.05$ ）。ROM と受動的トルクは、卵胞期と比較し黄体期においてもそれぞれ有意に高値を示した（ $\eta^2 = 0.79, P < 0.05$ ； $\eta^2 = 0.50, P < 0.05$ ）。スティフネスは、卵胞期に比べて排卵期に有意に低値を示した（ $\eta^2 = 0.32, P < 0.05$ ）。一方、卵胞期と黄体期の間には有意な差は認められなかった（ $\eta^2 = 0.16, P = 0.30$ ）。最大等尺性筋力は、卵胞期と排卵期の間には有意な差は認められなかった（ $\eta^2 = 0.19, P = 0.24$ ）が、黄体期には排卵期に比べて有意に高値を示した（ $\eta^2 = 0.51, P < 0.05$ ）。外側ハムストリングスの筋電図平均振

幅は、排卵期に比べて黄体期に有意に高値を示した ( $\eta^2=0.59, P<0.05$ )。しかし、内側ハムストリングスの筋電図平均振幅は、月経周期で有意な差はなかった ( $\eta^2=0.06, P=0.40$ )。Single Hop Test は月経周期で有意な差はなかった ( $\eta^2=0.02, P=0.73$ ) が、Triple Hop Test は卵胞期および排卵期と比較し、黄体期でそれぞれ有意に高値を示した (それぞれ、 $\eta^2=0.33, P<0.05$  ;  $\eta^2=0.57, P<0.05$ )。

さらに、排卵期から黄体期までの相対的な変化において、最大等尺性筋力とスティフネスとの間には有意な相関関係が認められなかった ( $r=-0.30, P=0.24$ )。加えて、最大等尺性筋力と内側ハムストリングスの筋電図平均振幅には有意な相関関係が認められなかったが ( $r=-0.08, p=0.76$ )、最大等尺性筋力と外側ハムストリングスの筋電図平均振幅の間には正の相関関係が認められた ( $r=0.50, P<0.05$ ) (図 7)。

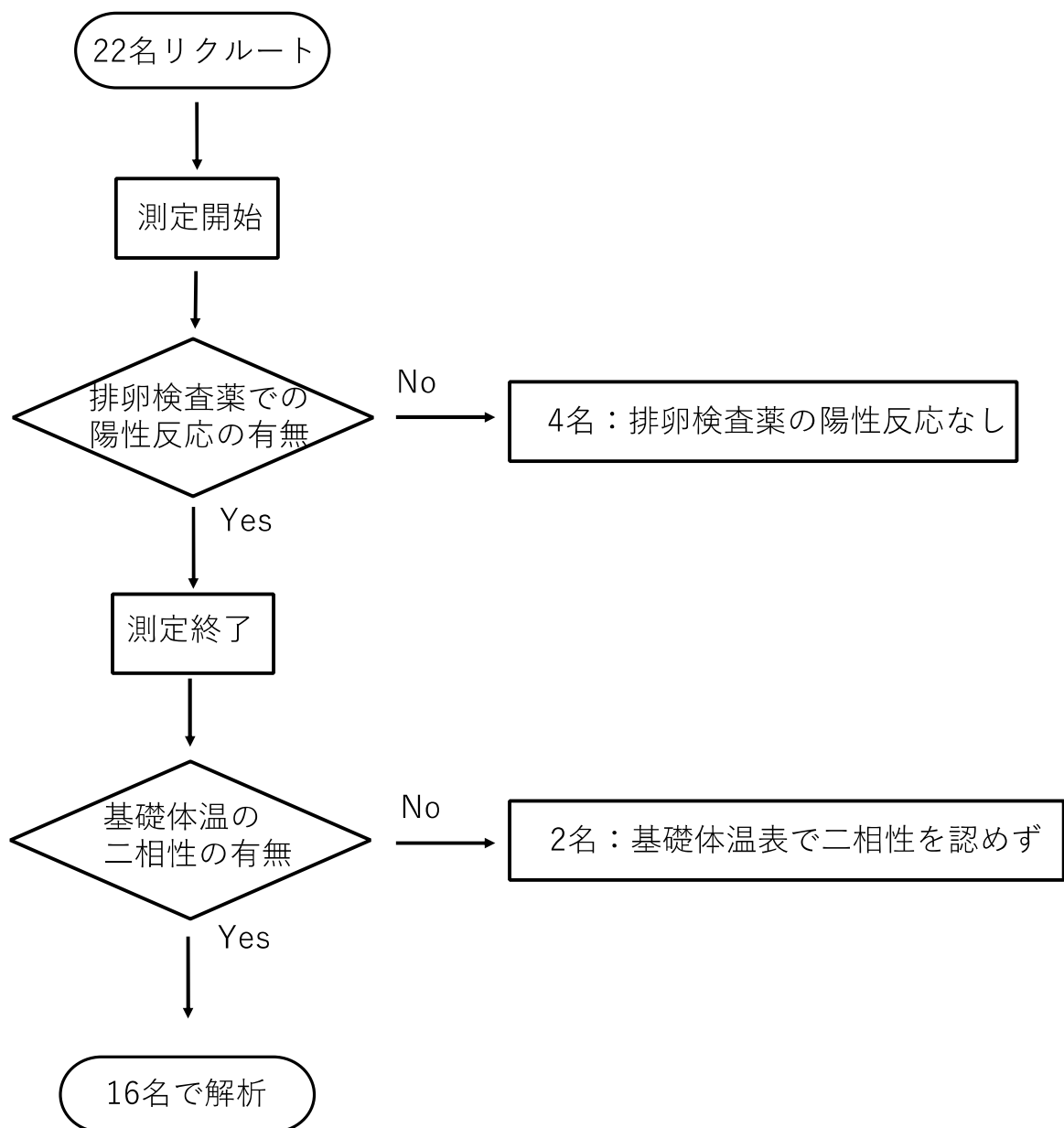


図 6. 研究課題 2 の女性群の実験手順

表 7. 月経周期における ROM、受動的トルク、スティフネス、最大等尺性筋力、ハムストリングスの筋電図平均振幅、Triple Hop Test の変化 (平均値 ± 標準偏差)

評価指標	卵胞期	排卵期	黄体期
女性群 (n = 16)			
関節可動域 (° )	83.0 ± 8.8	88.3 ± 8.6*	89.6 ± 9.6*
受動的トルク (Nm)	23.5 ± 4.7	25.0 ± 4.1*	26.3 ± 5.0*
受動的スティフネス (Nm/° )	0.31 ± 0.06	0.29 ± 0.04*	0.30 ± 0.05
最大等尺性筋力 (Nm)	38.9 ± 9.9	35.3 ± 8.2	39.0 ± 5.8 <sup>†</sup>
筋電図平均振幅 (mV)	外側ハムストリングス	0.35 ± 0.09	0.32 ± 0.10
	内側ハムストリングス	0.42 ± 0.11	0.40 ± 0.14
筋電図平均振幅 (mV)			0.43 ± 0.15
Single Hop Test	135.5 ± 15.4	135.5 ± 12.3	136.8 ± 13.8
Triple Hop Test	383.5 ± 38.2	386.8 ± 35.3	397.6 ± 32.2* <sup>†</sup>
男性群 (n = 8)			
関節可動域 (° )	78.0 ± 10.7	76.25 ± 14.4	78.1 ± 15.4
受動的トルク (Nm)	30.9 ± 9.3	30.9 ± 12.5	30.8 ± 12.7
受動的スティフネス (Nm/° )	0.41 ± 0.11	0.42 ± 0.11	0.41 ± 0.09
最大等尺性筋力 (Nm)	63.4 ± 8.2	61.6 ± 9.0	61.7 ± 9.4
筋電図平均振幅 (mV)	外側ハムストリングス	0.54 ± 0.21	0.55 ± 0.29
	内側ハムストリングス	0.51 ± 0.24	0.49 ± 0.22
筋電図平均振幅 (mV)			0.50 ± 0.18
Single Hop Test	181.3 ± 11.7	186.5 ± 11.6	182.2 ± 12.2
Triple Hop Test	540.7 ± 49.0	536.5 ± 24.6	545.5 ± 17.1

\* : 卵胞期の値との有意差 ( $P < 0.05$ )

† : 排卵期の値との比較 ( $P < 0.05$ )

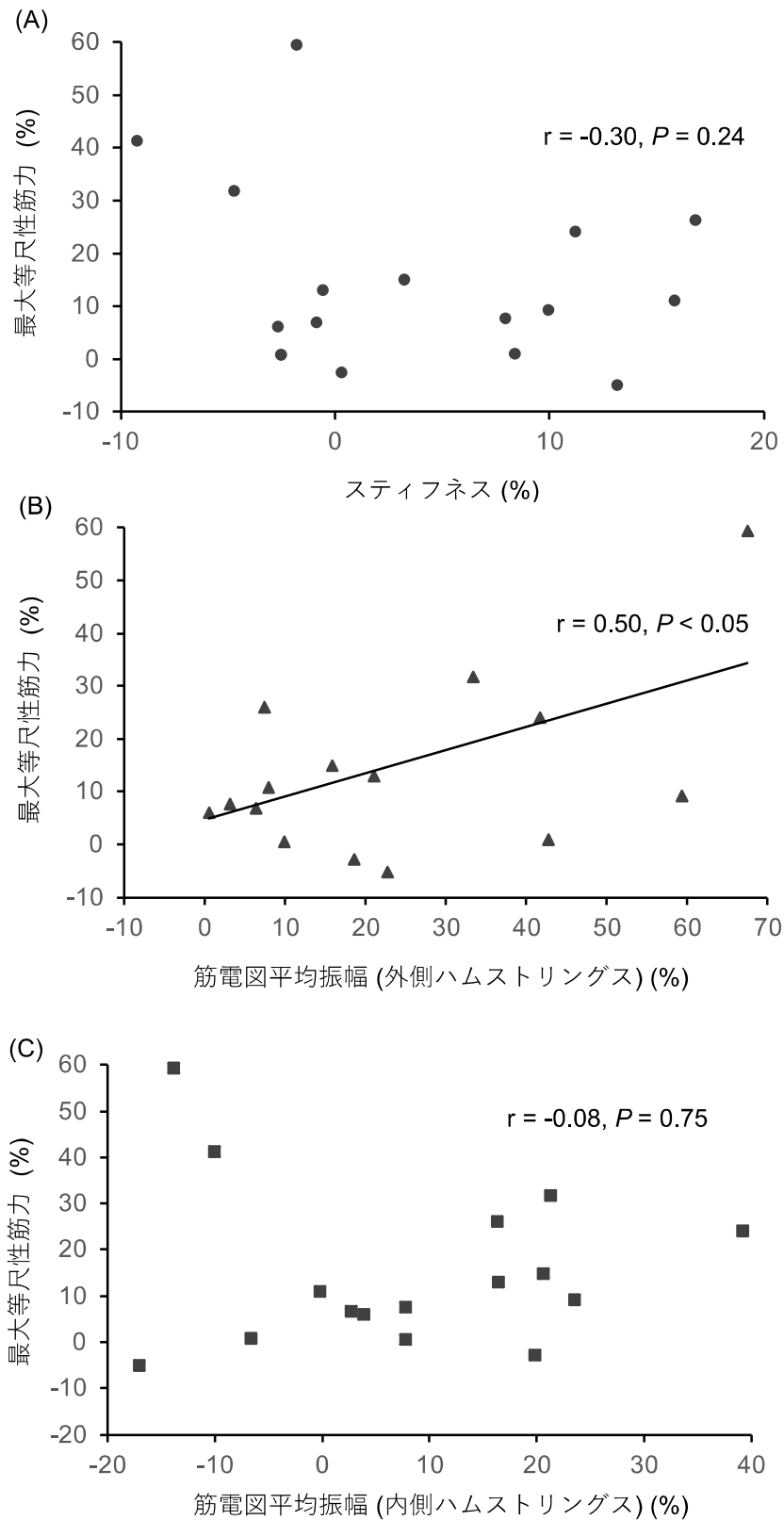


図7. 最大等尺性筋力と (A) スティフネス、(B) 外側ハムストリングスの筋電図平均振幅、(C) 内側ハムストリングスの筋電図平均振幅の変化率との散布図

### 3-4. 考察

本研究課題では、ROM の増加がスティフネスを低下させ、その結果、等尺性筋力が低下するという仮説を検証した。その結果、卵胞期と比較して排卵期にはスティフネスが低下したのに対して、最大等尺性筋力には変化がなく、両者には相関関係が認められなかった。これらの結果から、排卵期は筋力低下を伴わずに柔軟性を向上させる効果があることが示唆され、本研究課題の仮説とは異なる結果となった。

本研究は反復測定デザインであり、測定バイアスの可能性を考慮する必要があった。男性の対照群では、全ての評価指標において3回の測定でそれぞれ有意な差はなかった。この結果は、反復測定による繰り返し効果の影響が小さいことを示唆している。

研究課題1と同様に、エストロゲン濃度が高い状態の排卵期では、スティフネスの低下が認められた。一方、予想に反して、疼痛開始時の受動的トルクは、黄体期だけでなく排卵期にも増加した。最終ROM領域の受動的トルクは、伸張刺激に対する痛みの閾値であり、伸張耐性を反映しており、各参加者の伸張感覚の最大許容変化量の指標となる<sup>35)</sup>。本研究課題における受動的トルクは、痛みを引き起こすわけではないが、不快な状態を反映していると考えられる。プロゲステロンの分泌量は排卵直後から増加し、黄体期中期にピークに達する<sup>8)</sup>ため、今回の実験で測定した排卵期と黄体期は卵胞期よりもプロゲステロン濃度が高いと考えられる。そのため、排卵期・黄体期は卵胞期に比べて痛み刺激に伴う不快感が軽減され、痛みに対する意識が低下していることが示唆された。

排卵期・黄体期に卵胞期に比べてROMが増加した要因は、それぞれ異なる原因が考えられる。黄体期のROMの増加は、伸張耐性の変化によるROMの増加に起因していた。

さらに、排卵期の ROM の増加は、伸張耐性の変化に加えて、スティフネスの減少が寄与した。このように、黄体期の ROM の増加は伸張性の変化ではなく、痛みの慣れによる見かけ上の柔軟性の変化を反映しており、研究課題 1 の結果を支持するものであった。

本研究課題では、スティフネスの減少に伴って等尺性筋力が低下するという仮説を立てたが、仮説に反して排卵期の等尺性筋力は卵胞期と比較して有意な差はなかった。これまでの研究では、等尺性筋力の変化には、筋活動の低下<sup>89)</sup>、筋長と張力の変化<sup>90)</sup>、スティフネスの低下による力の伝導効率の低下<sup>86)</sup>が関与していることが報告されている。さらに、エストロゲンが筋細胞のクロスブリッジなどの収縮特性に寄与している可能性が示されている<sup>54,91)</sup>。したがって、本研究課題でも同様に、エストロゲンが筋力低下を抑制するという相反する現象が起こった可能性が考えられる。しかし、黄体期は排卵期に比べて等尺性筋力が有意に増加していた。この等尺性筋力の増加は、等尺性筋力と外側および内側ハムストリングスの筋活動との間に有意な相関関係があったことが要因として考えられる。エストロゲンには神経興奮作用があり、抑制を抑えて自発的な活性化を高めることが報告されている<sup>92)</sup>。したがって、今回の知見は、エストロゲンが黄体期に筋活動を亢進させ、その結果、筋力が向上したことを示唆するものである。また、Triple Hop Test も等尺性筋力の変化と同様、排卵期と比較し、黄体期で有意な増加を認めた。Triple Hop Test は、前方への跳躍のためハムストリングスを含めた股関節伸展筋群が主要な働きとなる<sup>93)</sup>。そのため、本研究において黄体期のハムストリングスの筋活動量の増加による最大筋力の増加が黄体期の Triple Hop Test の増加に寄与したことが考えられる。

本研究では、排卵期の筋電図平均振幅は卵胞期と比較し、有意な差を認めなかった。

Phillips らは若年女性 22 名を対象に、母指内転筋の等尺性最大筋力を毎日測定した結果、エストロゲンレベルが上昇する排卵期直前に筋力が増加し、排卵期には急激に低下し、筋力は月経周期の影響を受けることを報告している<sup>52)</sup>。その要因として、エストロゲン濃度の変動が挙げられている。本研究での排卵期の測定は、排卵後に測定をしたため、血中のエストロゲンレベルはピークを過ぎた後に計測したと考えられる。その為、神経系に変化を与えなかったことが示唆される。その他の要因として、月経開始時からの非ランダムな時系列で行われた研究デザインの偏りによるものが要因として挙げられる。先行研究では、定期的にトレーニングを行っていない女性は、フィットネステストに慣れていない場合、後のテストで学習し、利益を得る可能性が高いことが報告されている<sup>94)</sup>。今回の実験では、反復測定バイアスを最小限に抑えられるように参加者は実験前にオリエンテーション期間を経て、数回のテスト練習を行った。さらに、男性を対照群とし、全ての評価指標でそれぞれ有意な変動を認めないことを明らかにした。しかしながら、上述の理由により、このようなバイアスがかかる可能性を否定することはできないと考えられる。



### 3-5. 結論

健常な若年女性の卵胞期、排卵期、黄体期におけるハムストリングスの柔軟性と等尺性筋力、ジャンプパフォーマンスを比較した結果、排卵期と黄体期では、卵胞期に比べてROMが増加することが明らかになった。さらに、排卵期は卵胞期に比べてスティフネスが低下するものの、等尺性筋力は変化しなかった。等尺性筋力およびTriple Hop Testは、排卵期に比べて卵胞期に増加した。その要因として、ハムストリングスの筋電活動の増加が筋力およびTriple Hop Testに寄与した可能性が考えられる。

## 第4章 総合討論

### 4-1. 本研究で得られた成果

#### 4-1-1. 研究課題1：健常な若年女性における月経周期と柔軟性の関連性

健常な若年女性の月経周期と柔軟性の関連性を検討した。その結果、ROM は卵胞期と比較し、排卵期・黄体期でそれぞれ増加することが示された。排卵期はスティフネスの低下が ROM 増加に寄与し、黄体期には受動的トルクの増加が ROM 増加に寄与した。脛骨前方移動量は月経周期で有意な差を認めず、月経周期における関節弛緩性の変動は筋の柔軟性より小さいことが明らかになった。

#### 4-1-2. 研究課題2：健常な若年女性における月経周期と筋パフォーマンスの関連性

健常な若年女性の月経周期と筋パフォーマンスの関連性を検討した結果、ハムストリングスの最大随意等尺性筋力、筋活動量および Triple hop test は、排卵期と比較し黄体期に増加することが示された。月経周期における筋力の変動はスティフネスの変動と相関が認められなかったが、筋活動量との間に正の相関関係が認められた。

### 4-2. 本研究で得られた成果の意義

研究課題1では、月経周期と柔軟性の関連性を検討した結果、卵胞期と比較し、排卵期及び黄体期は ROM がそれぞれ増加し、排卵期においてはスティフネスが低下し、黄体期には受動的トルクが増加することが示された。一方で、膝関節の弛緩性は月経周期に影響を及ぼさないことが明らかとなった。これらの結果は、月経周期の排卵期における前十字

靭帯損傷の発症リスクが関節の弛緩性だけではなく、筋の柔軟性とも関連することを示唆するものであり、臨床的に重要な知見であると考えられる。本研究の結果より、月経周期によってスティフネスが変動し、傷害発生のリスクが異なることを考慮する必要があると考えられる。

研究課題2では、月経周期と筋パフォーマンスの関連性および排卵期におけるスティフネスの低下と筋パフォーマンスとの関連性を検証した。その結果、スティフネスは研究課題1と同様、卵胞期と比較し排卵期に低下した。しかしながら、筋力は卵胞期と排卵期の間で有意な差を認めず、排卵期と比較し黄体期で増加した。また、筋電図平均振幅は排卵期と比較し、黄体期で増加した。さらに、Triple hop test は卵胞期および排卵期と比較し、黄体期でそれぞれ増加した。今回の知見は、排卵期にスティフネスが低下しても、筋力は低下せず、卵胞期と同レベルの運動パフォーマンスを他の期でも維持できることを示唆している。

スティフネスの低下は、筋力の低下<sup>86)</sup>やジャンプ・スプリントなどの伸長-短縮サイクル(ストレッチショートニングサイクル)を用いた運動パフォーマンスの低下<sup>95)</sup>に影響を与えることが報告されている。しかし、本研究では、排卵期のスティフネスの低下が筋力低下につながらなかったことから、月経周期中のスティフネスの低下が運動パフォーマンスを低下させる可能性は低いと考えられる。

本研究の知見は、女性の月経周期における内的要因の変動を考慮した新たなスポーツ傷害の予防プログラムの構築の一助となることが期待でき、有益な情報となるものである。

#### 4-3. 研究の限界

本研究では、考慮すべきいくつかの限界点がある。まず、エストロゲンとプロゲステロンなどの性ホルモン濃度を測定していないため、性ホルモンと柔軟性および筋パフォーマンスの関連性については言及できない。Janse de Jonge<sup>1)</sup>は、月経周期に関する研究のフェーズ規定として、1. カレンダーベースのカウント法、2. 尿中黄体形成ホルモンの測定（排卵日予測検査薬）、3. 血清性ホルモン濃度の測定の3つの方法を組み合わせることを推奨している。本研究では、先行研究をもとに基礎体温計および排卵検査薬を用いて月経周期の同定を行ったが、性ホルモンレベルの濃度に関しては明らかにしていない。今後は性ホルモン濃度の測定を行い、柔軟性・筋パフォーマンスとの関係を検証する必要があると考えられる。本研究の参加者は、定期的にトレーニングを実践していない既往歴のない健常な若年女性であった。Kuwahara<sup>96)</sup>らは、女性がトレーニングを続けると、月経周期が正常でも女性ホルモンの分泌量が減少し、変動幅も小さくなると報告している。今回の研究結果では、月経周期における選手の柔軟性の変化を比較することはできないかもしれない。今後、スポーツ選手の月経周期における性ホルモン濃度を測定し、運動生理学的な観点だけでなく、高次脳機能など様々な観点から柔軟性や筋パフォーマンスを検討する必要があると考えられる。

## 第5章 結語

本研究は、健常な若年女性の柔軟性および筋パフォーマンスの経時的変化について検討し、月経周期と柔軟性および筋パフォーマンスの関連性を明らかにすることを目的とし、以下の知見を得た。

- 1) ROM は卵胞期と比較し、排卵期および黄体期でそれぞれ増加した。排卵期はスティフネスの低下が ROM 増加に寄与し、黄体期には受動的トルクの増加が ROM 増加に寄与した。脛骨前方移動量はフェーズ間で有意差を認めず、月経周期における関節弛緩性の変動は筋の柔軟性より小さいことが明らかになった。
- 2) ハムストリングスの最大等尺性筋力、筋活動量および Triple hop test は、排卵期と比較し黄体期に増加した。
- 3) 月経周期における筋力の変動はスティフネスの変動と相関がなく、筋活動量との間に正の相関関係が認められた。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、筑波大学体育系客員教授 兼 早稲田大学スポーツ科学学術院の前田清司教授をはじめ、筑波大学前田・小崎研究室の皆様、本研究の実施にあたり実験にご協力いただきました帝京平成大学健康メディカル学部理学療法学科の皆様方には多大なご尽力をいただきました。ここに深く感謝の意を申し上げます。

## 参考文献

- 1) Janse DEJX, Thompson B, Han A: Methodological Recommendations for Menstrual Cycle Research in Sports and Exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 2019, 51: 2610-2617.
- 2) Øiestad BE, Engebretsen L, Storheim K, et al.: Knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Am J Sports Med*, 2009, 37: 1434-1443.
- 3) Freedman KB, Glasgow MT, Glasgow SG, et al.: Anterior cruciate ligament injury and reconstruction among university students. *Clin Orthop Relat Res*, 1998: 208-212.
- 4) Curran AR, Park AE, Bach BR, Jr., et al.: Outpatient anterior cruciate ligament reconstruction: an analysis of charges and perioperative complications. *Am J Knee Surg*, 2001, 14: 145-151.
- 5) Mountcastle SB, Posner M, Kragh JF, Jr., et al.: Gender differences in anterior cruciate ligament injury vary with activity: epidemiology of anterior cruciate ligament injuries in a young, athletic population. *Am J Sports Med*, 2007, 35: 1635-1642.
- 6) Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, et al.: A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy*, 2007, 23: 1320-1325.e1326.

- 7) Gwinn DE, Wilckens JH, McDevitt ER, et al.: The relative incidence of anterior cruciate ligament injury in men and women at the United States Naval Academy. *Am J Sports Med*, 2000, 28: 98-102.
- 8) Hewett TE, Zazulak BT, Myer GD: Effects of the menstrual cycle on anterior cruciate ligament injury risk: a systematic review. *Am J Sports Med*, 2007, 35: 659-668.
- 9) Ireland ML: Anterior cruciate ligament injury in female athletes: epidemiology. *J Athl Train*, 1999, 34: 150-154.
- 10) Bahr R, Krosshaug T: Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med*, 2005, 39: 324-329.
- 11) Huston LJ, Greenfield ML, Wojtys EM: Anterior cruciate ligament injuries in the female athlete. Potential risk factors. *Clin Orthop Relat Res*, 2000: 50-63.
- 12) Belanger L, Burt D, Callaghan J, et al.: Anterior cruciate ligament laxity related to the menstrual cycle: an updated systematic review of the literature. *J Can Chiropr Assoc*, 2013, 57: 76-86.
- 13) Liu SH, al-Shaikh R, Panossian V, et al.: Primary immunolocalization of estrogen and progesterone target cells in the human anterior cruciate ligament. *J Orthop Res*, 1996, 14: 526-533.
- 14) Yu WD, Liu SH, Hatch JD, et al.: Effect of estrogen on cellular metabolism of the human anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res*, 1999: 229-238.

- 15) Janse de Jonge XA: Effects of the menstrual cycle on exercise performance. *Sports Med*, 2003, 33: 833-851.
- 16) Constantini NW, Dubnov G, Lebrun CM: The menstrual cycle and sport performance. *Clin Sports Med*, 2005, 24: e51-82, xiii-xiv.
- 17) Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Jr., et al.: Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*, 2000, 23: 573-578.
- 18) Herzberg SD, Motu'apuaka ML, Lambert W, et al.: The Effect of Menstrual Cycle and Contraceptives on ACL Injuries and Laxity: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop J Sports Med*, 2017, 5: 2325967117718781.
- 19) Somerson JS, Isby IJ, Hagen MS, et al.: The Menstrual Cycle May Affect Anterior Knee Laxity and the Rate of Anterior Cruciate Ligament Rupture: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JBJS Rev*, 2019, 7: e2.
- 20) Bell DR, Myrick MP, Blackburn JT, et al.: The effect of menstrual-cycle phase on hamstring extensibility and muscle stiffness. *J Sport Rehabil*, 2009, 18: 553-563.
- 21) Wepler CH, Magnusson SP: Increasing muscle extensibility: a matter of increasing length or modifying sensation? *Phys Ther*, 2010, 90: 438-449.
- 22) Law RY, Harvey LA, Nicholas MK, et al.: Stretch exercises increase tolerance to stretch in patients with chronic musculoskeletal pain: a randomized controlled trial. *Phys Ther*, 2009, 89: 1016-1026.
- 23) Urabe Y, Kobayashi R, Sumida S, et al.: Electromyographic analysis of the knee



- during jump landing in male and female athletes. *Knee*, 2005, 12: 129-134.
- 24) Abt JP, Sell TC, Laudner KG, et al.: Neuromuscular and biomechanical characteristics do not vary across the menstrual cycle. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2007, 15: 901-907.
- 25) Dos Santos Andrade M, Mascarin NC, Foster R, et al.: Is muscular strength balance influenced by menstrual cycle in female soccer players? *J Sports Med Phys Fitness*, 2017, 57: 859-864.
- 26) MJ A: *Science of Flexibility*. Human Kinetics, 2004.
- 27) 坂上昇: 関節の機能と関節可動域. 細田多穂, 他 (編) : 理学療法ハンドブック 改訂第4版「第1巻 理学療法の基礎と評価」. 協同医書出版社, 2010: 165-228.
- 28) Guissard N, Duchateau J: Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. *Muscle Nerve*, 2004, 29: 248-255.
- 29) Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T: Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol* (1985), 2002, 92: 595-601.
- 30) Watsford ML, Murphy AJ, McLachlan KA, et al.: A prospective study of the relationship between lower body stiffness and hamstring injury in professional Australian rules footballers. *Am J Sports Med*, 2010, 38: 2058-2064.
- 31) Bojsen-Møller J, Magnusson SP, Rasmussen LR, et al.: Muscle performance

- during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol* (1985), 2005, 99: 986-994.
- 32) Iwata M, Yamamoto A, Matsuo S, et al.: Dynamic Stretching Has Sustained Effects on Range of Motion and Passive Stiffness of the Hamstring Muscles. *J Sports Sci Med*, 2019, 18: 13-20.
- 33) Matsuo S, Iwata M, Miyazaki M, et al.: Changes in Flexibility and Force are not Different after Static Versus Dynamic Stretching. *Sports Med Int Open*, 2019, 3: E89-e95.
- 34) Folpp H, Deall S, Harvey LA, et al.: Can apparent increases in muscle extensibility with regular stretch be explained by changes in tolerance to stretch? *Aust J Physiother*, 2006, 52: 45-50.
- 35) Mizuno T, Matsumoto M, Umemura Y: Viscoelasticity of the muscle-tendon unit is returned more rapidly than range of motion after stretching. *Scand J Med Sci Sports*, 2013, 23: 23-30.
- 36) Slauterbeck JR, Fuzie SF, Smith MP, et al.: The Menstrual Cycle, Sex Hormones, and Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Athl Train*, 2002, 37: 275-278.
- 37) Myklebust G, Maehlum S, Holm I, et al.: A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scand J Med Sci Sports*, 1998, 8: 149-153.
- 38) Wojtys EM, Huston LJ, Boynton MD, et al.: The effect of the menstrual cycle on

- anterior cruciate ligament injuries in women as determined by hormone levels. *Am J Sports Med*, 2002, 30: 182-188.
- 39) Beynon BD, Johnson RJ, Braun S, et al.: The relationship between menstrual cycle phase and anterior cruciate ligament injury: a case-control study of recreational alpine skiers. *Am J Sports Med*, 2006, 34: 757-764.
- 40) Adachi N, Nawata K, Maeta M, et al.: Relationship of the menstrual cycle phase to anterior cruciate ligament injuries in teenaged female athletes. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2008, 128: 473-478.
- 41) Rahr-Wagner L, Thillemann TM, Mehnert F, et al.: Is the use of oral contraceptives associated with operatively treated anterior cruciate ligament injury? A case-control study from the Danish Knee Ligament Reconstruction Registry. *Am J Sports Med*, 2014, 42: 2897-2905.
- 42) Gray AM, Gugala Z, Baillargeon JG: Effects of Oral Contraceptive Use on Anterior Cruciate Ligament Injury Epidemiology. *Med Sci Sports Exerc*, 2016, 48: 648-654.
- 43) Lee H, Petrofsky JS, Daher N, et al.: Anterior cruciate ligament elasticity and force for flexion during the menstrual cycle. *Med Sci Monit*, 2013, 19: 1080-1088.
- 44) Shultz SJ, Sander TC, Kirk SE, et al.: Sex differences in knee joint laxity change across the female menstrual cycle. *J Sports Med Phys Fitness*, 2005, 45: 594-603.
- 45) Khowailed IA, Petrofsky J, Lohman E, et al.: 17 $\beta$ -Estradiol Induced Effects on

Anterior Cruciate Ligament Laxness and Neuromuscular Activation Patterns in Female Runners. *J Womens Health (Larchmt)*, 2015, 24: 670-680.

- 46) Beynnon BD, Bernstein IM, Belisle A, et al.: The effect of estradiol and progesterone on knee and ankle joint laxity. *Am J Sports Med*, 2005, 33: 1298-1304.
- 47) Hoffman M, Harter RA, Hayes BT, et al.: The interrelationships among sex hormone concentrations, motoneuron excitability, and anterior tibial displacement in women and men. *J Athl Train*, 2008, 43: 364-372.
- 48) Janse de Jonge XA, Boot CR, Thom JM, et al.: The influence of menstrual cycle phase on skeletal muscle contractile characteristics in humans. *J Physiol*, 2001, 530: 161-166.
- 49) DiBrezzo R, Fort IL, Brown B: Relationships among strength, endurance, weight and body fat during three phases of the menstrual cycle. *J Sports Med Phys Fitness*, 1991, 31: 89-94.
- 50) Lebrun CM, McKenzie DC, Prior JC, et al.: Effects of menstrual cycle phase on athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*, 1995, 27: 437-444.
- 51) Sarwar R, Niclos BB, Rutherford OM: Changes in muscle strength, relaxation rate and fatiguability during the human menstrual cycle. *J Physiol*, 1996, 493 (Pt 1): 267-272.
- 52) Phillips SK, Sanderson AG, Birch K, et al.: Changes in maximal voluntary force

- of human adductor pollicis muscle during the menstrual cycle. *J Physiol*, 1996, 496 ( Pt 2): 551-557.
- 53) Gordon D, F H, K Y, et al.: The effects of menstrual cycle phase on the development of peak torque under isokinetic conditions. *Isokinetics and Exercise Science*, 2011, 21: 285-291.
- 54) Lowe DA, Baltgalvis KA, Greising SM: Mechanisms behind estrogen's beneficial effect on muscle strength in females. *Exerc Sport Sci Rev*, 2010, 38: 61-67.
- 55) Davies BN, Elford JC, Jamieson KF: Variations in performance in simple muscle tests at different phases of the menstrual cycle. *J Sports Med Phys Fitness*, 1991, 31: 532-537.
- 56) Giacomoni M, Bernard T, Gavarry O, et al.: Influence of the menstrual cycle phase and menstrual symptoms on maximal anaerobic performance. *Med Sci Sports Exerc*, 2000, 32: 486-492.
- 57) Ekenros L, Hirschberg AL, Heijne A, et al.: Oral contraceptives do not affect muscle strength and hop performance in active women. *Clin J Sport Med*, 2013, 23: 202-207.
- 58) Fridén C, Hirschberg AL, Saartok T: Muscle strength and endurance do not significantly vary across 3 phases of the menstrual cycle in moderately active premenopausal women. *Clin J Sport Med*, 2003, 13: 238-241.
- 59) Julian R, Hecksteden A, Fullagar HH, et al.: The effects of menstrual cycle phase

- on physical performance in female soccer players. PLoS One, 2017, 12: e0173951.
- 60) Gintzler AR, Bohan MC: Pain thresholds are elevated during pseudopregnancy. Brain Res, 1990, 507: 312-316.
- 61) Bull JR, Rowland SP, Scherwitzl EB, et al.: Real-world menstrual cycle characteristics of more than 600,000 menstrual cycles. NPJ Digit Med, 2019, 2: 83.
- 62) 宮岡佳子, 秋元世志枝, 上田嘉代子, et al.: PMDD 評価尺度の開発と妥当性および信頼性の検討. 女性心身医学, 2009, 14: 194-201.
- 63) Miyaoka Y, Akimoto Y, Ueda K, et al.: Fulfillment of the premenstrual dysphoric disorder criteria confirmed using a self-rating questionnaire among Japanese women with depressive disorders. Biopsychosoc Med, 2011, 5: 5.
- 64) 尾上敏一 楠: 基礎体温表による簡易な排卵日推定法に関する一考察. 日本産科婦人科学会, 1980, 1980: 886-890.
- 65) Karageanes SJ, Blackburn K, Vangelos ZA: The association of the menstrual cycle with the laxity of the anterior cruciate ligament in adolescent female athletes. Clin J Sport Med, 2000, 10: 162-168.
- 66) Behre HM, Kuhlage J, Gassner C, et al.: Prediction of ovulation by urinary hormone measurements with the home use ClearPlan Fertility Monitor: comparison with transvaginal ultrasound scans and serum hormone measurements. Hum Reprod, 2000, 15: 2478-2482.

- 67) Matsuo S, Suzuki S, Iwata M, et al.: Acute effects of different stretching durations on passive torque, mobility, and isometric muscle force. *J Strength Cond Res*, 2013, 27: 3367-3376.
- 68) Gajdosik RL: Influence of a low-level contractile response from the soleus, gastrocnemius and tibialis anterior muscles on viscoelastic stress-relaxation of aged human calf muscle-tendon units. *Eur J Appl Physiol*, 2006, 96: 379-388.
- 69) Lamontagne A, Malouin F, Richards CL: Viscoelastic behavior of plantar flexor muscle-tendon unit at rest. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1997, 26: 244-252.
- 70) Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, et al.: A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *J Physiol*, 1996, 497 ( Pt 1): 291-298.
- 71) Matsuo S, Suzuki S, Iwata M, et al.: Changes in force and stiffness after static stretching of eccentrically-damaged hamstrings. *Eur J Appl Physiol*, 2015, 115: 981-991.
- 72) Kimura Y, Tsuda E, Hiraga Y, et al.: Usefulness of a new arthrometer for measuring anterior tibial translation. *Orthop SurgTraumatol*, 2016, 59: 985-989.
- 73) Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 1977, 33: 159-174.
- 74) Atkinson G, Nevill AM: Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med*, 1998, 26: 217-238.

- 75) Wilkes-Gillan S, Bundy A, Cordier R, et al.: A Randomised Controlled Trial of a Play-Based Intervention to Improve the Social Play Skills of Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). *PLoS One*, 2016, 11: e0160558.
- 76) Ajduk A, Małagocki A, Maleszewski M: Cytoplasmic maturation of mammalian oocytes: development of a mechanism responsible for sperm-induced Ca<sup>2+</sup> oscillations. *Reprod Biol*, 2008, 8: 3-22.
- 77) Shultz SJ, Kirk SE, Johnson ML, et al.: Relationship between sex hormones and anterior knee laxity across the menstrual cycle. *Med Sci Sports Exerc*, 2004, 36: 1165-1174.
- 78) Wiik A, Ekman M, Johansson O, et al.: Expression of both oestrogen receptor alpha and beta in human skeletal muscle tissue. *Histochem Cell Biol*, 2009, 131: 181-189.
- 79) Kumagai H, Miyamoto-Mikami E, Hirata K, et al.: ESR1 rs2234693 Polymorphism Is Associated with Muscle Injury and Muscle Stiffness. *Med Sci Sports Exerc*, 2019, 51: 19-26.
- 80) Bell DR, Blackburn JT, Norcross MF, et al.: Estrogen and muscle stiffness have a negative relationship in females. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2012, 20: 361-367.
- 81) Reed BG, Carr BR: The Normal Menstrual Cycle and the Control of Ovulation. In: *Endotext*. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc.



- 82) Vincent K, Stagg CJ, Warnaby CE, et al.: "Luteal Analgesia": Progesterone Dissociates Pain Intensity and Unpleasantness by Influencing Emotion Regulation Networks. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2018, 9: 413.
- 83) Raja SN, Carr DB, Cohen M, et al.: The revised International Association for the Study of Pain definition of pain: concepts, challenges, and compromises. *Pain*, 2020, 161: 1976-1982.
- 84) Coronel MF, Labombarda F, Villar MJ, et al.: Progesterone prevents allodynia after experimental spinal cord injury. *J Pain*, 2011, 12: 71-83.
- 85) Maruyama S, Yamazaki T, Sato Y, et al.: Relationship Between Anterior Knee Laxity and General Joint Laxity During the Menstrual Cycle. *Orthop J Sports Med*, 2021, 9: 2325967121993045.
- 86) Ryan ED, Beck TW, Herda TJ, et al.: Do practical durations of stretching alter muscle strength? A dose-response study. *Med Sci Sports Exerc*, 2008, 40: 1529-1537.
- 87) Grindem H, Logerstedt D, Eitzen I, et al.: Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function in nonoperatively treated individuals with anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*, 2011, 39: 2347-2354.
- 88) Cohen J: *Statistical Power Analysis for the Behavioral Science* (2nd Eds.) . Lawrence Erlbaum Associated Hillsdale, 1998.

- 89) Fowles JR, Sale DG, MacDougall JD: Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *J Appl Physiol* (1985), 2000, 89: 1179-1188.
- 90) Avela J, Kyröläinen H, Komi PV: Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *J Appl Physiol* (1985), 1999, 86: 1283-1291.
- 91) Wattanapermpool J, Reiser PJ: Differential effects of ovariectomy on calcium activation of cardiac and soleus myofilaments. *Am J Physiol*, 1999, 277: H467-473.
- 92) Ansdell P, Brownstein CG, Škarabot J, et al.: Menstrual cycle-associated modulations in neuromuscular function and fatigability of the knee extensors in eumenorrhic women. *J Appl Physiol* (1985), 2019, 126: 1701-1712.
- 93) Nagano A, Komura T, Fukashiro S: Optimal coordination of maximal-effort horizontal and vertical jump motions--a computer simulation study. *Biomed Eng Online*, 2007, 6: 20.
- 94) Hopkins WG: Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*, 2000, 30: 1-15.
- 95) Miyamoto N, Hirata K, Inoue K, et al.: Muscle Stiffness of the Vastus Lateralis in Sprinters and Long-Distance Runners. *Med Sci Sports Exerc*, 2019, 51: 2080-2087.
- 96) Kuwahara T, Inoue Y, Taniguchi M, et al.: Effects of physical training on heat loss responses of young women to passive heating in relation to menstrual cycle.

Eur J Appl Physiol, 2005, 94: 376-385.