

腹腔内圧が下肢筋群の筋力に及ぼす影響

鹿屋体育大学大学院 体育学研究科
体育学専攻

学籍番号 157005

田屋敷 幸太

平成 30 年 1 月

目次

| | | |
|------------|--|-----------|
| 第1章 | 本論文における研究の背景 | 2 |
| 1-1. | 序論 | |
| 1-2. | 本論文で用いる用語の説明 | |
| 1-3. | 研究小史 | |
| 1-4. | 本論文の目的と構成 | |
| 第2章 | 腹腔内圧と下肢筋群の筋力との関連について検討 | 7 |
| 第3章 | 股関節伸展の最大筋力に対して腹腔内圧が及ぼす影響について検討 | 25 |
| 第4章 | 女性における腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との関連について検討 | 33 |
| 第5章 | 総括論議 | 43 |
| 第6章 | 結論 | 50 |

参考文献

謝辞

第 1 章

本論文における研究の背景

1-1. 序論

スポーツ現場では、四肢の筋力やパフォーマンスの向上を目的として、体幹トレーニングが広く実施されている。その効果を裏付けるエビデンスとして、体幹トレーニングが下肢筋群の筋力やパフォーマンスを向上させたことを報告する研究がいくつか存在する (Butcher et al. 2007; Hoshikawa et al. 2013; Imai et al. 2014; Jamison et al. 2012; Mills et al. 2005; Sharma et al. 2006)。体幹トレーニングによって下肢筋群の筋力やパフォーマンスが向上する機序は明らかになっていないが、その一つとして、四肢の筋力発揮を行う上で重要であると考えられている体幹の剛性 (Behm et al. 2010; Kibler et al. 2006; Willardson 2007) が関わっている可能性がある。体幹の剛性は、体幹筋群の収縮に伴う腹腔内圧の増加とともに向上する (Cholewicki et al. 1999a; Essendrop et al. 2002; Hodges et al. 2005)。腹腔内圧は、デッドリフトなどの下肢筋群の筋力発揮を行う際に大きく増加することが報告されている (Harman et al. 1988; Harman et al. 1989; Hemborg and Moritz 1985; Kawabata et al. 2010)。以上のことを踏まえると、腹腔内圧の増加は、体幹の剛性向上に貢献し、その結果、下肢筋群の筋力に影響すると考えられる。また、腹腔内圧が下肢筋群の筋力に影響を及ぼすのであれば、腹腔内圧の個人差が下肢筋群の最大筋力の個人差と関連する可能性がある。これまでに、腹腔内圧と下肢筋群の筋力との関連について検討した研究はいくつか存在しているが (McGill et al 1990; Miyamoto et al. 1999; Hagins et al. 2006; Harman et al. 1989)、それらの多くはデッドリフトなどの多関節動作を対象としている。そのため、腹腔内圧の増加が、下肢のどの関節の筋力に影響を及ぼすかは不明である。

本論文では、まず、これまでに明らかにされている 1) 腹腔内圧の規定因子、2) 身体運動時において腹腔内圧が担う役割、3) 下肢筋群の筋力に対する体幹トレーニングの効果、の 3 点について先行研究の知見を概説する。続く 3 つの章において、腹腔内圧が下肢筋群の筋力に及ぼす影響について新たな知見を提示する。

1-2. 本論文で用いる用語の説明

体幹

体幹は、前部を腹筋群、背部を背筋群、上部を横隔膜、下部を骨盤底筋群によって構成される箱形部分のことを指す (Akuthota and Nadler 2004; Richardson et al. 1999). また、上記の体幹を構成する筋群のことを体幹筋群という.

体幹の剛性

体幹の剛性は、外力に対して体幹を固定する能力として捉えられている (Akuthota and Nadler 2004; Panjabi et al. 1989).

腹腔内圧

上部を横隔膜、前部を腹筋群、下部を骨盤底筋群に囲まれた腹腔内の圧力を意味する. 腹腔内圧の測定法には、開腹することで侵襲的に測定を行う直接法と、直接法と近似した値を示す胃内圧法 (Hagins et al. 2006; Hodges et al. 2001) や直腸内圧法 (Kawabata et al. 2010; McCarthy 1982; Miyamoto et al. 1999) を用いる間接法が存在する. 本論文では、肛門から約 12 – 15 cm の直腸部での圧力を測定する直腸内圧法を採用し、得られた値を腹腔内圧として扱う.

筋サイズ

骨格筋の筋横断面積および筋厚の総称.

筋力

関節の回転中心まわりに生じる力のモーメント (関節トルク) やデッドリフトなどの身体運動時に床反力計などによって測定される力の総称.

1-3. 研究小史

ここでは、先行研究で得られている知見を要約すると同時に、本論文において検証すべき点を明らかにする。

1-3-1. 腹腔内圧の規定因子

腹腔は、それを取り囲む横隔膜、腹筋群、骨盤底筋群の収縮によって容積が減少する。そのため、腹腔内圧は、それらの収縮によって増加し得る。実際、横隔膜の収縮による肺気量の増加が、腹腔内圧を増加させたことを報告する知見（Hagins et al. 2006; Kawabata et al. 2010; Kawabata et al. 2014）から、横隔膜の収縮は、腹腔内圧を増加させる上で重要な役割を担っていることが示唆されている（Hagins et al. 2004; Hodges and Gandevia 2000; Hodges et al. 2001）。また、デッドリフトなど様々な運動課題実施時において、腹直筋や外腹斜筋といった体幹の表層に位置する筋（体幹表層筋）ではなく、内腹斜筋や腹横筋といった体幹の深層に位置する筋（体幹深層筋）の筋活動量と腹腔内圧の間に正の相関関係が認められることから（Cresswell et al. 1992; Cresswell and Thorstensson 1994）、体幹深層筋の収縮は、腹腔内圧の変化と関連性が高いことが考えられる。一方で、体幹深層筋だけでなく、腹直筋や外腹斜筋といった体幹表層筋の筋活動量も腹腔内圧と正の相関関係にあることが示されている（Cholewicki et al. 2002; Tayashiki et al. 2016b）。加えて、体幹表層筋および体幹深層筋を含む体幹筋群全体を同時収縮させるエクササイズ（腹部ブレイジング）時の腹腔内圧は、体幹深層筋のみを選択的に高く活動させる腹部引き込みエクササイズ（ドローイング）時のそれよりも有意に高値であることが示されている（Tayashiki et al. 2016b）。このことから、腹腔内圧をより高く増加させるためには、体幹深層筋を高く活動させるだけでなく、体幹筋群全体の同時収縮が必要であると考えられる。一方で、腹腔内圧に対する体幹トレーニングの効果に関する研究においては、腹直筋が主働筋である体幹屈曲トレーニングでは腹腔内圧は変化せず（Hemborg et al. 1985; Legg 1981）、体幹深層筋を活動させる回旋トレーニングを実施することで腹腔内圧に有意な増加が生じる（Cresswell et al. 1994）ことが示されている。以上を踏まえると、体幹筋群全体の同時収縮によって腹腔内圧は高く増加するが、腹腔内圧の変化と関連性が高いのは体幹深層筋であると考えられる。

1-3-2. 身体運動時に腹腔内圧が担う役割

体幹筋群の収縮に伴う腹腔内圧の増加とともに、外乱刺激に対する体幹の変位が低下することが明らかにされている (Cholewicki et al. 1999b; Essendrop et al. 2002)。よって、腹腔内圧の増加は、体幹の剛性向上に貢献すると考えられる。また、腹腔内圧は、歩行動作 (Grillner et al. 1987)、ジャンプやランディング動作 (Harman et al. 1988; Kawabata et al. 2008)、デッドリフト動作 (Harman et al. 1989; Kawabata et al. 2010) といった様々な下肢筋群の筋力発揮時および動作実施時に増加することが報告されている。このような現象は、主動作に先立って体幹を硬くすることで、下肢の主動作を円滑に行うことを可能にしていると解釈されている (Kawabata et al. 2008)。以上の知見を踏まえると、下肢筋群の筋力発揮に際して、腹腔内圧の増加が体幹の剛性を向上させることで、高い筋力発揮が可能になると考えられる。また、腹腔内圧が下肢筋群の筋力に影響を及ぼすのであれば、腹腔内圧の個人差が下肢筋群の最大筋力の個人差と関連する可能性がある。

これまでに、腹腔内圧と下肢筋群の筋力との関連について検討した研究はいくつか存在するが (McGill et al. 1990; Miyamoto et al. 1999; Hagins et al. 2006; Harman et al. 1989)、それらの多くはデッドリフトなどの多関節動作を対象としている。例えば、腹腔内圧がデッドリフト動作の最大筋力と関連しないことが報告されているが (Hagins et al. 2006)、腹腔内圧を測定した被検者数が 11 名と少ないことや、膝関節や股関節の角度などのデッドリフト動作が規定されていないといった方法論上の問題点が存在する。そのため、腹腔内圧の増加が下肢のどの関節の筋力に影響を及ぼすかは未だ不明である。

1-3-3. 体幹トレーニングが下肢筋群の筋力に及ぼす影響について

体幹トレーニングが下肢筋群の筋力に及ぼす影響について検討した研究はいくつか存在する (Cosio-Lima et al. 2003; Dello Iacono et al. 2016; Essa and El-hafez 2016; Hoshikawa et al. 2013; Jamsion et al. 2012)。特に、股関節および膝関節における伸展や屈曲の最大筋力の向上 (Dello Iacono et al. 2016; Essa and El-hafez 2016; Hoshikawa et al. 2013) が報告されている。例えば、Hoshikawa et al. (2013) は、サッカーのみの練習を行うコントロール群と比較して、サッカーの練習に加えブリッジエクササイズなどを含む体幹トレーニングを実施するトレーニング群の等速性最大股関節伸展トルクは有意に高く向上するが、等速性最大股関節屈曲トルクには有意な群間差がないことを示している。また、Essa and El-hafez (2016) は、ブリッジエクササイズなどを含む体幹トレーニングを行うことによって等速性最大股関節伸展トルクは向上するが、等速性最大股関節屈曲トルクは変化しないことを

報告している。膝関節伸展と屈曲の最大筋力については、Cosio-Lima et al. (2003) が、体幹屈曲や伸展エクササイズなどから構成される体幹トレーニングを行っても等速性最大膝関節伸展および屈曲トルクに有意な変化が観察されなかったことを示している。一方で、Dello Iacono et al. (2016) は、ブリッジエクササイズを含む体幹トレーニングによって等速性最大膝関節伸展および屈曲トルクが向上することを明らかにしている。しかし、Dello Iacono et al. (2016) の研究で用いられたトレーニング種目には、ランジやノルディックハムストリングなど、下肢筋群の筋力に対して直接的に影響する (Bourne et al. 2017; Jonhagen et al. 2009) トレーニング種目も含まれている。そのため、Dello Iacono et al. (2016) の研究における膝関節伸展および屈曲の最大筋力の向上が、体幹トレーニングによるものであるかどうかについては疑問が残る。筆者の研究においては、腹腔内圧を効果的に増加させる腹部ブレイシングを用いた体幹トレーニングによって股関節伸展の最大筋力は向上するが、膝関節伸展 (Tayashiki et al. 2016a) や股関節屈曲 (田屋敷 2015) の最大筋力は向上しないことが明らかになっている。前々項や前項で述べた内容とこれらの知見を踏まえると、体幹トレーニングによる腹腔内圧の増加は、下肢筋群の最大筋力向上に寄与すると考えられるが、ただし、それは検証を行う課題特異的、すなわち、股関節伸展の最大筋力に対しては効果があり、股関節屈曲や膝関節の屈曲および伸展の最大筋力に対しては効果がない可能性がある。

1-4. 本論文の目的と構成

本論文は、腹腔内圧が下肢筋群の筋力に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。目的を達成する為に、3つの研究を実施した。研究1 (第2章) においては、腹腔内圧と股関節および膝関節における屈曲と伸展の最大筋力との関連について検討した。研究2 (第3章) では、研究1で腹腔内圧との関連が認められた股関節伸展の最大筋力に着目し、股関節伸展の最大筋力に対して腹腔内圧が及ぼす影響について検討した。研究3 (第4章) では、男性に比べて腹腔内圧が低い女性被検者を対象に腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との関連について検討した。上記の研究1-3において得られた結果に基づき、腹腔内圧が下肢筋群の筋力に及ぼす影響について考察を行った (第5章)。

第 2 章

腹腔内圧と下肢筋群の筋力との関連についての検討（研究 1）

2-1. 目的

前章で述べたとおり，下肢筋群での筋力発揮に際して，腹腔内圧の増加が体幹の剛性を向上させることで，高い筋力発揮が可能になると考えられる．また，腹腔内圧が下肢筋群の筋力に影響を及ぼすのであれば，腹腔内圧の個人差が下肢筋群の最大筋力の個人差と関連する可能性がある．しかしながら，腹腔内圧の増加が，下肢のどの関節の筋力に影響を及ぼすかは不明である．そこで，本研究では，1) 腹腔内圧の増加が股関節および膝関節における屈曲と伸展の最大筋力に及ぼす影響について，および 2) 腹腔内圧の個人差と股関節および膝関節における屈曲と伸展の最大筋力の個人差との関連について明らかにすることを目的にした．

腹腔内圧を増加させる方法として，肺気量の増加がある（Hagins et al. 2004; Kawabata et al. 2010; Miyamoto et al. 1999）．例えば，デッドリフト時の腹腔内圧は，最大吸気時に呼吸を停止した肺気量が大きい条件が，最大呼気時に呼吸を停止した肺気量が小さい条件よりも高値であったことが報告されている（Hagins et al. 2006）．よって，本研究では，筋力発揮時の肺気量の違いが，股関節および膝関節における伸展と屈曲の最大筋力および筋力発揮時の腹腔内圧に及ぼす影響を検討した．また，得られたデータから，腹腔内圧の個人差と最大筋力の個人差との関連についても検討を行った．

2-2. 方法

実験デザイン

本研究の目的を達成するために，同一被検者において，3種類の肺気量条件下での股関節伸展と屈曲の最大筋力発揮（股関節課題）および膝関節伸展と屈曲の最大筋力発揮（膝関節課題）の2課題を行わせた．それぞれの課題実施時にトルク，腹腔内圧，下肢筋群の筋電図を同時に計測した．なお，2つの課題は，ランダムな順序でそれぞれ異なる日に実施した．両課題におけるトルクと筋電図の測定は，被検者の右脚にて行われた．

被検者

四肢と腰部に障害を持たない健常な若年男性 18 名 (22.0 ± 2.2 歳; 1.71 ± 0.03 m; 68.1 ± 6.1 kg) を被検者とした。全ての被検者は、1 日 30 分以上、週 2 日以上、何らかの運動を定期的実施していた。また、実験開始 24 時間以内での激しい運動は避けるように指示した。なお、研究実施に先立ち、被検者には実験の目的、測定内容および安全性について十分な説明を行い、実験参加の同意を書面にて得た。本研究は、鹿屋体育大学倫理審査委員会の承認を得た上で実施した。

肺気量条件

両課題において、3 種類の肺気量条件を設定した。それぞれの条件における被検者への指示は以下の通りである。

吸気条件：被検者は、筋力発揮前に最大努力での吸気を行い、その状態（最大吸気位）で呼吸を停止する。筋力発揮は、呼吸を停止したまま行う。

呼気条件：被検者は、筋力発揮前に最大努力での呼気を行い、その状態（最大呼気位）で呼吸を停止する。筋力発揮は、呼吸を停止したまま行う。

通常条件：被検者は、筋力発揮前に通常の呼吸を行い、その状態で呼吸を停止する。筋力発揮は、呼吸を停止したまま行う。

実験設定とプロトコル

股関節課題における被検者の姿勢は、筋力計（CON-TREX MJ, PHYSIOMED, Germany）の台上での仰臥位とし、股関節および膝関節の角度は 90° （解剖学的正位： 180° ）とした。その姿勢において、股関節の回転中心を筋力計のアームのそれに合わせ、右大腿部をアームに固定した。胸部、骨盤、および左大腿部は、非伸縮性ベルトを用いて筋力計の台に固定した。また、台に固定された専用のパッドを用いて被検者の肩を筋力計の台に固定することで、筋力発揮時に胴体が動かないようにした（図 1-1a）。

膝関節課題における被検者の姿勢は、筋力計の台上での座位とし、股関節および膝関節の角度は 90° とした。その姿勢において、膝関節の回転中心を筋力計のアームのそれに合わせ、右下腿部をアームに固定した。肩から臀部までの体幹部は、非伸縮性ベルトを用いてしっかりと筋力計の台に固定した（図 1-1b）。

股関節課題および膝関節課題の両課題において、まず被検者は、最大下および最大努

力による伸展および屈曲筋力発揮の練習を複数回行った。3分以上の休息後、被検者は、いずれかの肺気量条件下にて、3-5秒間の伸展あるいは屈曲の最大筋力発揮を行った。試行間に2分以上の休息を挟み、伸展および屈曲筋力発揮ともに各条件2回ずつ行わせた。各課題における伸展筋力発揮と屈曲筋力発揮の順序および実施する肺気量条件の順序はランダムとした。それぞれの課題において、1回目と2回目の最大トルクの差が5%以上ある場合には、3回目の測定を行った。最大トルクの差が5%以内の2試行を採用し、以降の分析において使用した。なお、被検者には、いずれの条件での筋力発揮時においても、腹部や背部を意識せず課題の遂行にのみ集中するように指示をした。

腹腔内圧の測定

直径約1.6 mmの滅菌されたカテーテル型圧力センサー（MPC-500, Millar Instruments, USA）を用いて、肛門から約12-15 cmの直腸内圧を腹腔内圧として測定した。センサーには潤滑剤を塗ることで、挿入時の円滑性を確保した。検者が挿入方法を被検者に教示し、被検者が自ら挿入の後、腹部ブレイシングを行うことで圧力が正常に変化することを確認した。

筋電図（electromyogram: EMG）の測定

双極誘導によるEMGシステム（ゲイン: ×1000; Bagnoli 8 EMG System, DELSYS, USA）を用いて、課題実施時の大臀筋、大腿直筋、外側広筋、大腿二頭筋、および半腱様筋のEMGを計測した。股関節課題では、大臀筋と大腿二頭筋のEMGを計測した（図1-2）。膝関節課題では、大腿直筋、外側広筋、大腿二頭筋、および半腱様筋のEMGを計測した（図1-3）。EMG測定においては、電極間距離10 mmの平行バー電極（DE-2.1, DELSYS, USA）を使用した。いずれの筋においても、筋線維走行に沿うように筋腹へ電極を貼付した。なお、電極貼付位置はすべて被検者の右脚とした。電極貼付位置は以下に示す通りである。

大臀筋：仙骨と大転子を結ぶ線の1/2長の位置

大腿直筋：大腿長の50%位置における大腿直筋の筋腹中央

外側広筋：大腿長の50%位置における外側広筋の筋腹中央

大腿二頭筋：大腿長の50%位置における大腿二頭筋長頭の筋腹中央

半腱様筋：大腿長の50%位置における半腱様筋の筋腹中央

電極貼付に際して、貼付位置を除毛後、紙やすりで少し削り、アルコール綿で拭き取り、皮膚抵抗を抑えた状態で電極の貼付を行った。

データ分析

すべてのデータは、16ビットのA/D変換器（PowerLab 16/35, ADInstruments, Australia）を用いて2000 Hzでパーソナルコンピュータに同時に記録した。データの分析には、データ解析ソフト（LabChart version 7, ADInstruments, Australia）を用いた。課題実施時の腹腔内圧は、安静時から最大トルク時の差分を算出した。すべてのEMG信号は、カットオフ周波数20 Hzのハイパスフィルターをかけた後、全波整流した。股関節と膝関節課題実施時の各筋のEMGは、最大トルクを挟んだ0.5秒間を分析対象とし、その区間の平均値（average EMG: AEMG）を算出した。股関節課題においては、伸展筋力発揮時の通常条件における大臀筋および大腿二頭筋のAEMG値をそれぞれEMGmaxとした。膝関節課題においては、伸展と屈曲筋力発揮時の通常条件における各筋のAEMG値の最大値をそれぞれのEMGmaxとした。各課題実施時の各筋のAEMG値は、EMGmaxに対する相対値（%EMGmax）で表した。

統計

各測定値に対して、繰り返しのある一元配置分散を用いて条件の主効果を確認した。主効果が認められた際には、多重比較（ボンフェロー法）によって肺気量条件間の有意差を確認した。また、ピアソンの積率相関係数（ r ）を用いて、各課題における最大トルクと腹腔内圧との関係を検討した。なお、すべての統計量において、有意水準は5%とした。統計処理には、統計解析ソフト（SPSS version 22.0, IBM Corp, USA）を使用した。

2-3. 結果

股関節課題

股関節伸展筋力発揮時の腹腔内圧において、条件の主効果が認められた（ $F=26.942, P<0.001, \text{partial } \eta^2=0.613$ ）。吸気条件の腹腔内圧は、通常条件（ $P=0.007$ ）および呼気条件（ $P<0.001$ ）のそれよりも有意に高く、通常条件の腹腔内圧は、呼気条件のそれよりも有意に高かった（ $P=0.001$ ）（図 1-4）。また、股関節屈曲筋力発揮時の腹腔内圧において、条件の

主効果が認められた ($F = 41.779, P < 0.001, \text{partial } \eta^2 = 0.711$). 吸気条件の腹腔内圧は、通常条件 ($P < 0.001$) および呼気条件 ($P < 0.001$) のそれよりも有意に高く、通常条件の腹腔内圧は、呼気条件のそれよりも有意に高かった ($P = 0.001$) (図 1-4).

最大股関節伸展トルクにおいて、条件の主効果が認められ ($F = 6.188, P = 0.005, \text{partial } \eta^2 = 0.267$), 吸気条件が呼気条件よりも有意に高値を示した ($P = 0.010$) (図 1-5a). 最大股関節屈曲トルクにおいて、条件の主効果は認められなかった ($F = 1.972, P = 0.155, \text{partial } \eta^2 = 0.104$) (図 1-5b).

吸気条件 ($r = 0.527, P = 0.025$), 通常条件 ($r = 0.677, P = 0.002$), および呼気条件 ($r = 0.659, P = 0.003$) のそれぞれ条件において、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの間に有意な正の相関関係が認められた (図 1-6a). 一方、いずれの条件においても、最大股関節屈曲トルクと腹腔内圧との間に有意な相関関係は認められなかった ($r = 0.232 - 0.289, P = 0.244 - 0.355$) (図 1-6b).

股関節伸展筋力発揮時の大臀筋の%EMGmax において、条件の主効果が認められた ($F = 4.512, P = 0.018, \text{partial } \eta^2 = 0.210$). 大臀筋の%EMGmax において、吸気条件と通常条件の間に有意な差が認められた ($P = 0.022$). 股関節伸展筋力発揮時における他の筋および股関節屈曲筋力発揮時の各筋の%EMGmax において、条件の主効果は認められなかった ($F = 0.172 - 2.436, P = 0.122 - 0.843, \text{partial } \eta^2 = 0.010 - 0.125$) (表 1-1).

膝関節課題

膝関節伸展筋力発揮時の腹腔内圧において、条件の主効果が認められた ($F = 16.819, P < 0.001, \text{partial } \eta^2 = 0.497$). 腹腔内圧は、吸気条件が呼気条件よりも有意に高く ($P < 0.001$), 通常条件が呼気条件よりも有意に高かった ($P = 0.010$) (図 1-7). また、膝関節屈曲筋力発揮時の腹腔内圧において、条件の主効果が認められた ($F = 18.109, P < 0.001, \text{partial } \eta^2 = 0.516$). 腹腔内圧は、吸気条件が呼気条件よりも有意に高く ($P < 0.001$), 通常条件が呼気条件よりも有意に高かった ($P = 0.004$) (図 1-7).

最大膝関節伸展トルクにおいて、条件の主効果は認められなかった ($F = 1.348, P = 0.273, \text{partial } \eta^2 = 0.073$) (図 1-8a). また、最大膝関節屈曲トルクにおいても、条件の主効果は認められなかった ($F = 1.746, P = 0.190, \text{partial } \eta^2 = 0.093$) (図 1-8b).

いずれの条件においても、最大膝関節伸展トルクと腹腔内圧との間に有意な相関関係は認められなかった ($r = 0.060 - 0.391, P = 0.108 - 0.813$) (図 1-9a). 通常条件 ($r = 0.265, P$

= 0.288) と呼気条件 ($r = 0.165, P = 0.514$) において、最大膝関節屈曲トルクと腹腔内圧との間に有意な相関関係は認められなかったが、吸気条件では最大膝関節屈曲トルクと腹腔内圧との間に有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.616, P = 0.006$) (図 1-9b).

膝関節伸展と屈曲筋力発揮時の各筋の%EMGmax において、条件の主効果は認められなかった ($F = 0.028 - 1.849, P = 0.173 - 0.972, \text{partial } \eta^2 = 0.002 - 0.098$) (表 1-2).

2-4. 考察

すべての条件において腹腔内圧との間に有意な相関関係が認められたのは、最大股関節伸展トルクのみであった。この結果は、肺気量条件にかかわらず、腹腔内圧が股関節伸展の最大筋力と関連していることを示している。しかしながら、この結果からでは、腹腔内圧の増加が下肢筋群の筋力に影響を及ぼすかどうか、すなわち、腹腔内圧と下肢筋群の筋力との因果関係は分からない。一方、股関節伸展筋力発揮時の腹腔内圧は吸気条件、通常条件、呼気条件の順に高値を示し (図 1-4)、最大股関節伸展トルクは吸気条件が、呼気条件よりも有意に高値であった (図 1-5a)。これらの結果を踏まえると、腹腔内圧は股関節伸展の最大筋力と特異的に関連するだけでなく、股関節伸展の最大筋力に対して影響を及ぼすと考えられる。

一方、腹腔内圧では吸気条件と通常条件との間 (22.9 mmHg) および通常条件と呼気条件との間 (23.8 mmHg) に有意な差が認められたのに対して、最大股関節伸展トルクでは吸気条件と通常条件との間および通常条件と呼気条件との間で有意な差が認められていない。よって、20-25mmHg 程度の腹腔内圧の増加では、股関節伸展の最大筋力を向上させることができないと考えられる。この点については、総括論議にて考察する。

腹腔内圧が股関節伸展の最大筋力に対して影響を及ぼす機序として、いくつかの可能性が考えられる。1つ目として、肺気量の違いによる下肢筋群の筋活動量の違いが最大トルクを変化させた可能性がある。本研究において、股関節伸展筋力発揮時における大臀筋の%EMGmax は、吸気条件が通常条件よりも有意に高値を示したが (表 1-1)、最大股関節伸展トルクでは吸気条件と通常条件との間に有意な差が認められていない。また、股関節伸展筋力発揮時における大腿二頭筋の%EMGmax では、条件間の有意な差は観察されなかった (表 1-1)。よって、本研究で観察された最大股関節伸展トルクにおける条件間 (吸気条件 vs. 呼気条件) の有意差に対して、下肢筋群の筋活動量が影響を及ぼした可能性

は小さいと考えられる。上記とは異なる機序として、筋力発揮時における腹腔内圧の働きが考えられる。先行研究において、腹腔内圧の増加によって体幹あるいは股関節伸展トルクが発生することが示唆されている (Keith 1923; Morris et al. 1961; Miyamoto et al. 1999)。また、腹腔内圧の増加に関与する腹横筋や内腹斜筋などの収縮が、腰背筋膜を介して体幹あるいは股関節伸展トルクを発生させることも示唆されている (Gracovetsky 1988; McGill et al. 1990)。

本研究において、吸気条件における腹腔内圧と最大膝関節屈曲トルクとの間に有意な正の相関関係が認められた。一方で、腹腔内圧では条件間に有意な差が認められたが、最大膝関節屈曲トルクでは条件間の有意な差が観察されていない。よって、腹腔内圧は股関節屈曲の最大筋力と関連する可能性はあるが、股関節屈曲の最大筋力に対して直接的に影響を及ぼすわけではないと考えられる。

2-5. まとめ

本研究では、3種類の肺気量条件下での股関節および膝関節における伸展と屈曲の最大筋力ならびに筋力発揮時の腹腔内圧を同時に計測し、各測定項目における条件間の差について検討した。また、得られたデータから、腹腔内圧の個人差と最大筋力の個人差との関連についても検討を行った。すべての条件において腹腔内圧との間に有意な相関関係が認められたのは、最大股関節伸展トルクのみであった。股関節伸展筋力発揮時の腹腔内圧は吸気条件、通常条件、呼気条件の順に高値を示し、最大股関節伸展トルクは吸気条件が、呼気条件よりも有意に高値であった。これらの結果を踏まえると、腹腔内圧は股関節伸展の最大筋力と特異的に関連するだけでなく、股関節伸展の最大筋力に対して影響を及ぼすと考えられる。

※本章は、「European Journal of Applied Physiology」に掲載が決定している論文 (doi: 10.1007/s00421-017-3748-0) および「Journal of Strength and Conditioning Research」に投稿・修正中の論文を和訳・転載 (一部変更) したものである。

表 1-1. 股関節伸展と屈曲筋力発揮時の各筋の%EMGmax

| 課題 | 筋 | 肺気量条件 | | | 分散分析 P 値 |
|-------|-------|--------------|-------------|--------------|----------|
| | | 吸気条件 | 通常条件 | 呼気条件 | |
| 股関節伸展 | 大臀筋 | 119.5 ± 26.4 | 100.0 ± 0.0 | 103.0 ± 29.4 | 0.018 |
| | 大腿二頭筋 | 104.5 ± 34.2 | 100.0 ± 0.0 | 103.0 ± 22.5 | 0.843 |
| 股関節屈曲 | 大臀筋 | 25.0 ± 22.2 | 22.3 ± 16.7 | 26.1 ± 23.8 | 0.174 |
| | 大腿二頭筋 | 29.6 ± 19.9 | 22.9 ± 13.7 | 36.8 ± 31.2 | 0.122 |

値は平均 ± 標準偏差で示す。

表 1-2. 膝関節伸展と屈曲筋力発揮時の各筋の%EMGmax

| 課題 | 筋 | 肺気量条件 | | | 分散分析 P 値 |
|-------|-------|--------------|-------------|--------------|----------|
| | | 吸気条件 | 通常条件 | 呼気条件 | |
| 膝関節伸展 | 大腿直筋 | 101.8 ± 11.1 | 100.0 ± 0.0 | 102.0 ± 13.7 | 0.774 |
| | 外側広筋 | 105.8 ± 12.3 | 100.0 ± 0.0 | 104.7 ± 11.4 | 0.173 |
| 膝関節屈曲 | 大腿二頭筋 | 99.6 ± 18.5 | 100.0 ± 0.0 | 100.6 ± 17.9 | 0.972 |
| | 半腱様筋 | 97.7 ± 19.6 | 100.0 ± 0.0 | 97.1 ± 18.8 | 0.799 |

値は平均 ± 標準偏差で示す。

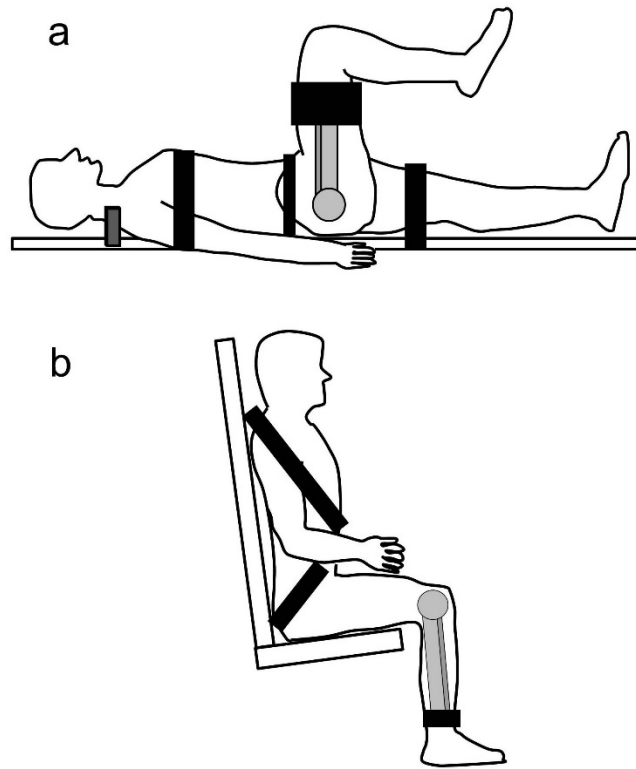


図 1-1. 股関節課題 (a) と膝関節課題 (b) における筋力発揮時の姿勢.

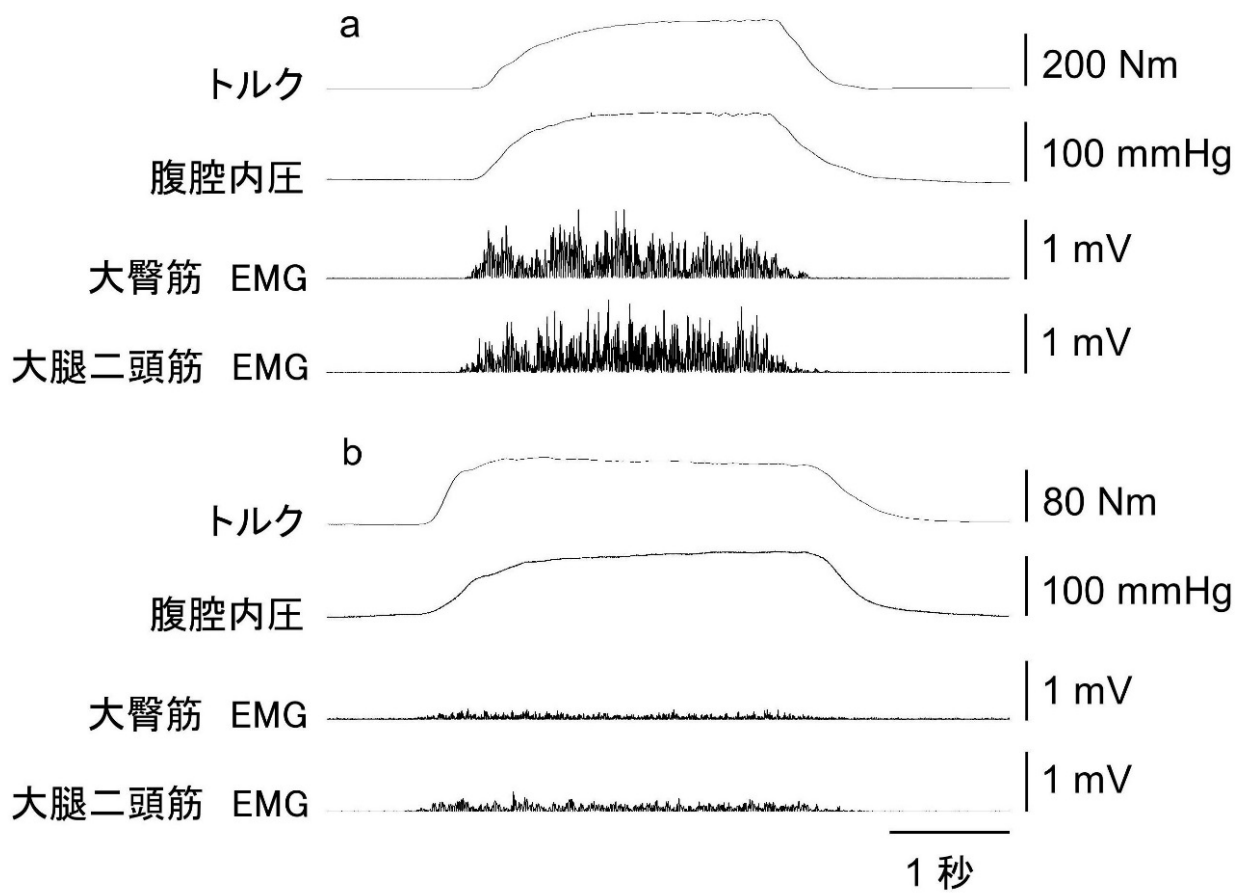


図 1-2. 股関節伸展 (a) と屈曲 (b) 筋力発揮時のトルク，腹腔内圧，および筋電図 (electromyogram : EMG) のデータ典型例.

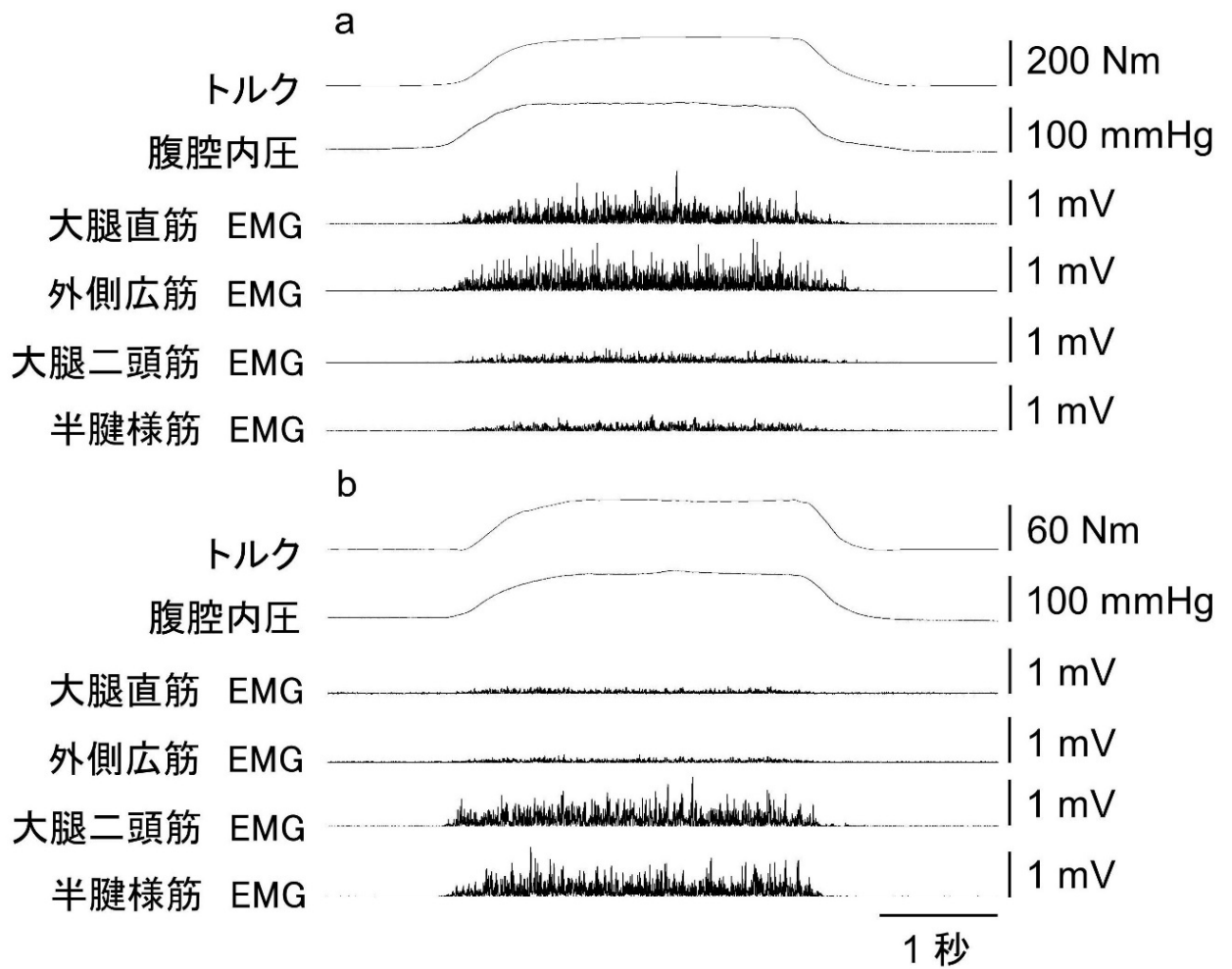


図 1-3. 膝関節伸展 (a) と屈曲 (b) 筋力発揮時のトルク，腹腔内圧，および筋電図 (electromyogram : EMG) のデータ典型例.

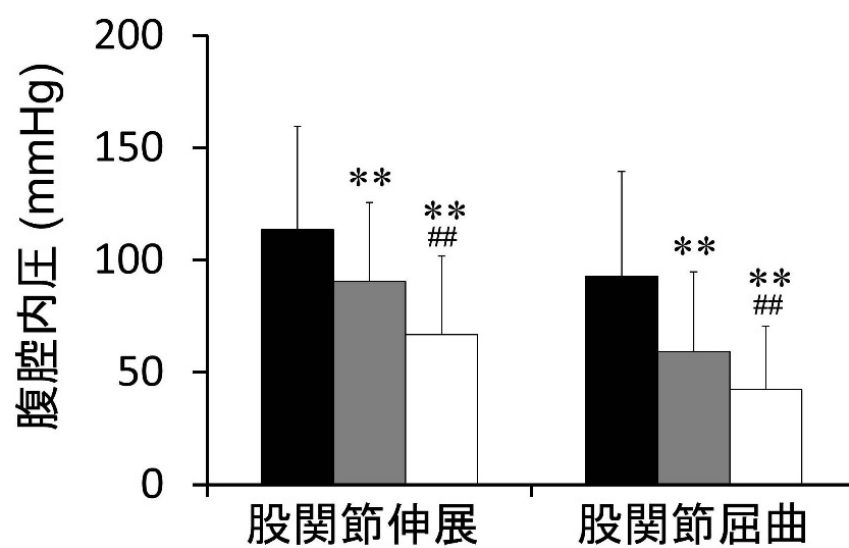


図 1-4. 吸気条件（黒）、通常条件（灰）、および呼気条件（白）における股関節伸展と屈曲筋力発揮時の腹腔内圧。

**：吸気条件との間に有意な差（ $P < 0.01$ ）

##：通常条件との間に有意な差（ $P < 0.01$ ）

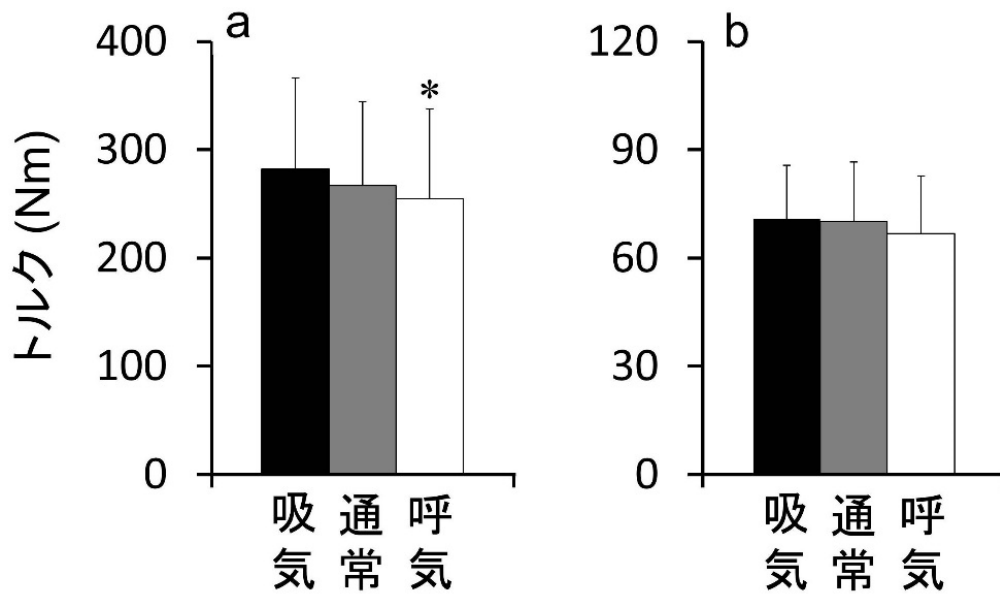


図 1-5. 吸気条件（黒）、通常条件（灰）、および呼気条件（白）における股関節伸展（a）と屈曲筋力発揮時（b）の最大トルク。

*：吸気条件との間に有意な差（ $P < 0.05$ ）

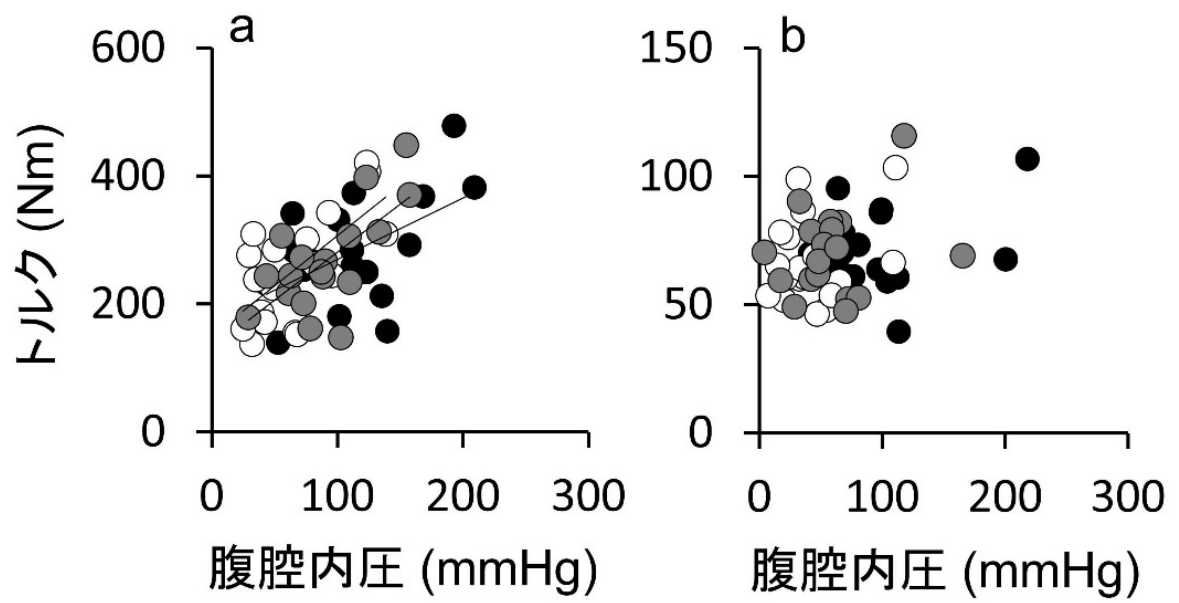


図 1-6. 吸気条件（黒）、通常条件（灰）、および呼気条件（白）における股関節伸展（a）と屈曲筋力発揮時（b）の腹腔内圧と最大トルクとの関係。

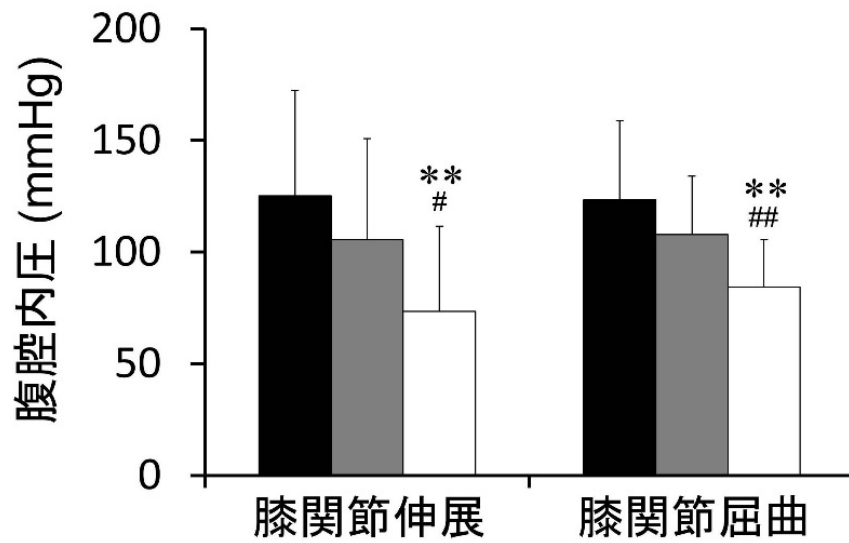


図 1-7. 吸気条件（黒）、通常条件（灰）、および呼気条件（白）における膝関節伸展と屈曲筋力発揮時の腹腔内圧。
 **: 吸気条件との間に有意な差 ($P < 0.01$)
 #: 通常条件との間に有意な差 ($P < 0.05$)
 ##: 通常条件との間に有意な差 ($P < 0.01$)

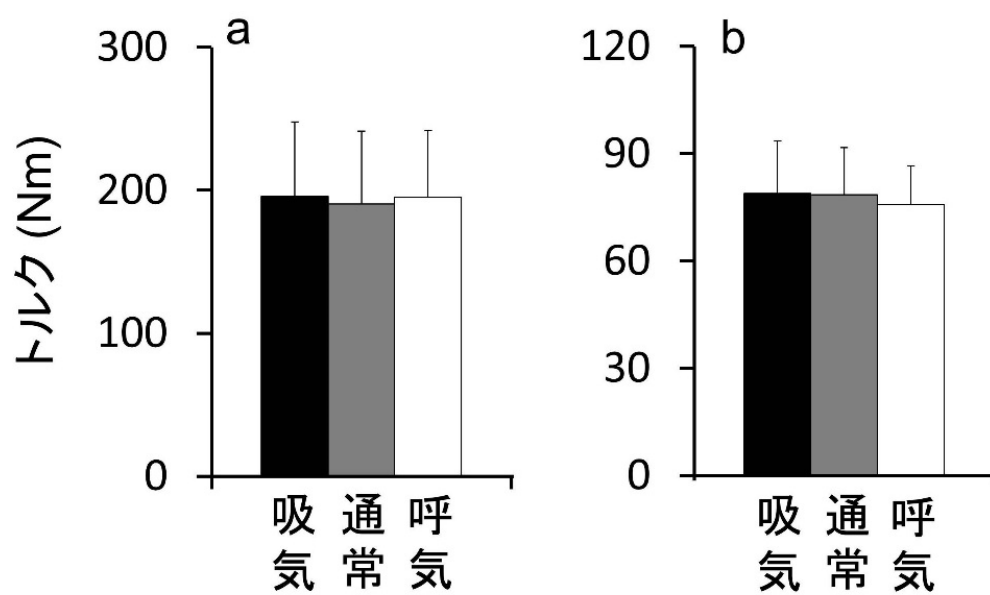


図 1-8. 吸気条件（黒）、通常条件（灰）、および呼気条件（白）における膝関節伸展（a）と屈曲筋力発揮時（b）の最大トルク。

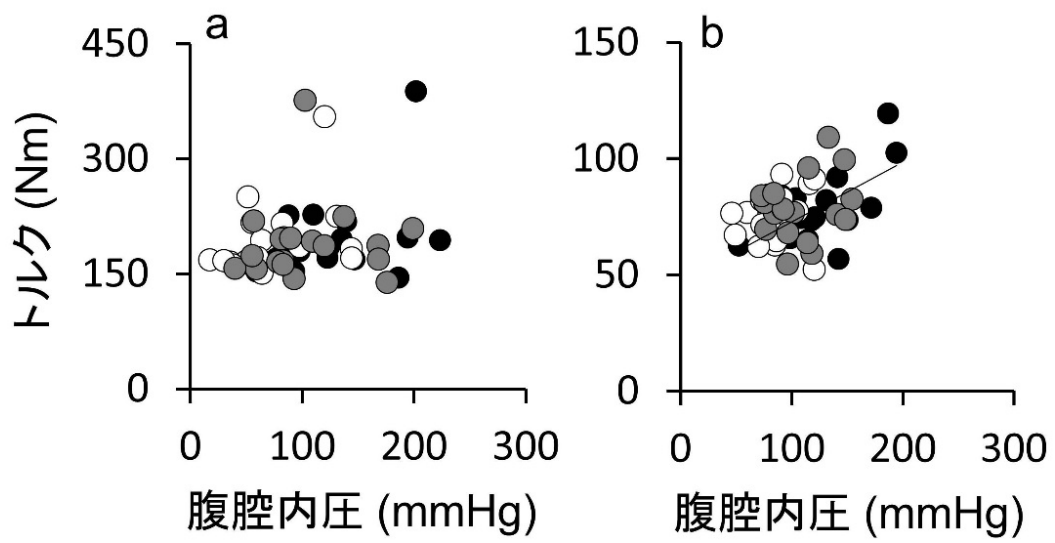


図 1-9. 吸気条件（黒），通常条件（灰），および呼気条件（白）における膝関節伸展（a）と屈曲筋力発揮時（b）の腹腔内圧と最大トルクの関係。

第 3 章

股関節伸展の最大筋力に対して腹腔内圧が及ぼす影響について検討（研究 2）

3-1. 目的

研究 1 の結果から、腹腔内圧は股関節伸展の最大筋力と特異的に関連するだけでなく、股関節伸展の最大筋力に対して影響を及ぼすと考えられる。一方で、最大筋力と主働筋の筋サイズが関連し (Blazevich et al. 2009; Fukunaga et al. 2001)、大臀筋やハムストリングが股関節伸展の主働筋と考えられていることから、大臀筋やハムストリングの筋サイズが股関節伸展の最大筋力と関連すると予想される。また、トレーニングなどによって大臀筋やハムストリングの筋サイズが大きい者は、体幹筋群の筋サイズも大きい可能性がある。もしそうであれば、大臀筋やハムストリングの筋サイズが大きい者は、筋力発揮時の腹腔内圧の増加量も大きくなり、その結果、腹腔内圧が股関節伸展の最大筋力と関連した可能性がある。そこで、大臀筋やハムストリングの筋サイズの影響を取り除いた場合においても、腹腔内圧が股関節伸展の最大筋力と関連するかを明らかにすることを目的とした。

3-2. 方法

被検者

四肢と腰部に障害を持たない健常な若年男性 20 名 (22.0 ± 2.2 歳; 1.73 ± 0.06 m; 69.8 ± 6.3 kg) を被検者とした。全ての被検者は、1 日 30 分以上、週 2 日以上、何らかの運動を定期的実施していた。また、実験開始 24 時間以内での激しい運動は避けるように指示した。なお、研究実施に先立ち、被検者には実験の目的、測定内容および安全性について十分な説明を行い、実験参加の同意を書面にて得た。本研究は、鹿屋体育大学倫理審査委員会の承認を得た上で実施した。

筋サイズの測定および分析

初めに、超音波画像撮像装置 (Pro-sound $\alpha 7$, Aloka, Japan) を用いて、ハムストリングおよび大臀筋の筋サイズを測定した。筋サイズの測定は、すべて被検者の右脚にて行われた。被検者には、測定中、両脚を肩幅に開き、体重を両脚に均等にかけて立位姿勢を維持

するよう指示した。ハムストリングについては、超音波画像撮像装置 B モード法の extended field-of-view (EFOV) 機能を用い、大腿長の近位 50%位置における横断画像を 2 回取得した (図 2-1b)。得られた画像において、筋横断面積を算出し、2 回の平均値を代表値として扱った。大臀筋に関しては、予備実験の結果、形状の複雑さゆえに EFOV 機能による全体の横断画像の撮像が困難であると判断した。そのため、超音波画像撮像装置 B モード法によって、仙骨と大転子を結ぶ線上の近位 30% (A)、A の垂直線と大転子レベルの水平線との交点 (B)、および A と B の中点 (C) の 3 ヶ所における横断画像を取得した (図 2-1c)。得られた画像において、筋厚を計測し、3 ヶ所の平均値を代表値として扱った。すべての超音波画像の分析には、画像分析ソフト (Image J, National Institutes of Health, USA) を使用した。

トルクと腹腔内圧の測定および分析

筋サイズの測定後、股関節伸展筋力および腹腔内圧の測定を行った。被検者の姿勢は、前章と同様、筋力計 (CON-TREX MJ, PHYSIOMED, Germany) の台上での仰臥位とし、股関節および膝関節の角度は 90° とした。その姿勢において、股関節の回転中心を筋力計のアームのそれに合わせ、右大腿部をアームに固定した。胸部、骨盤、および左大腿部は、非伸縮性ベルトを用いて筋力計の台に固定した。また、台に固定された専用のパッドを用いて被検者の肩を筋力計の台に固定することで、筋力発揮時に胴体が動かないようにした。

まず被検者は、最大下および最大努力による股関節伸展筋力発揮の練習を複数回行った。3 分以上の休息後、被検者は、3 - 5 秒間の股関節伸展の最大筋力発揮を実施した。試行間に 2 分以上の休息を挟み、2 回行わせた。1 回目と 2 回目の最大トルクの差が 5% 以上ある場合には、3 回目の測定を行った。最大トルクの差が 5% 以内の 2 試行を採用し、以降の分析において使用した。なお、被検者には、筋力発揮時において、腹部や背部を意識しないように指示をした。筋力発揮時のトルクと腹腔内圧を 16 ビットの A/D 変換器 (PowerLab 16/35, ADInstruments, Australia) を用いて 2000 Hz でパーソナルコンピュータに同時に記録した。データの分析には、データ解析ソフト (LabChart version 7, ADInstruments, Australia) を用いた。

股関節伸展筋力発揮時において、直径約 1.6 mm の滅菌されたカテーテル型圧力センサー (MPC-500, Millar Instruments, USA) を用いて、肛門から約 12 - 15cm の直腸内圧を腹

腔内圧として測定した。センサーには潤滑剤を塗ることで、挿入時の円滑性を確保した。検者が挿入方法を被検者に教示し、被検者が自ら挿入の後、腹部ブレイシングを行うことで圧力が正常に変化することを確認した。腹腔内圧は、安静時から最大トルク時の差分を算出した。

統計

ピアソンの積率相関係数 (r) を用いて、最大股関節伸展トルクと腹腔内圧あるいはハムストリングの筋横断面積や大臀筋の筋厚との関連について検討した。また、ハムストリングの筋横断面積および大臀筋の筋厚を制御変数とした偏相関分析によって、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの関連について検討した。なお、すべての統計量において、有意水準は 5%とした。統計処理には、統計解析ソフト (SPSS version 22.0, IBM Corp, USA) を使用した。

3-3. 結果

最大股関節伸展トルクと腹腔内圧の間には有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.504, P = 0.024$) (図 2-2)。最大股関節伸展トルクとハムストリングの筋横断面積 ($r = 0.307, P = 0.188$) (図 2-3) あるいは大臀筋の筋厚 ($r = 0.405, P = 0.076$) (図 2-4) との間には有意な相関関係が認められなかった。

ハムストリングの筋横断面積および大臀筋の筋厚を制御変数とした偏相関分析において、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの間に有意な相関関係が認められた ($r = 0.486, P = 0.041$)。

3-4. 考察

本研究において、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの間に有意な正の相関関係が認められた (図 2-2)。この結果は、研究 2 で認められた腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との関連についての結果を支持するものである。また、偏相関分析によってハムストリングと大臀筋の筋サイズの影響を除外した場合においても、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの間には有意な正の相関関係が認められた。つまり、腹腔内圧は、ハムストリングおよ

び大臀筋の筋サイズとは独立して、股関節伸展の最大筋力と関連することが明らかになった。

最大股関節伸展トルクと大臀筋の筋厚あるいはハムストリングの筋横断面積との間に有意な相関関係は認められなかった（図 2-3, 図 2-4）。等速性収縮による最大股関節伸展トルクとハムストリングの筋横断面積との間に有意な正の相関関係が認められたことを報告している先行研究の結果（Masuda et al. 2003）と本研究の結果とは異なっていた。本研究の結果を説明する理由として、本研究で採用された股関節および膝関節 90 度屈曲位での股関節伸展筋力発揮における両筋の筋活動量の低さが考えられる。ハムストリングの筋活動量は、股関節伸展筋力発揮が膝関節屈曲筋力発揮よりも著しく低く、大臀筋の筋活動量は、股関節 90 度屈曲位での股関節筋力発揮が 90 度以上の伸展位でのそれよりも約 30%低いことが明らかにされている（Worrell et al. 2001）。Worrell et al. (2001) の知見と本研究の結果を考慮すると、股関節および膝関節 90 度屈曲位での股関節伸展の最大筋力に対する大臀筋およびハムストリングの筋サイズの貢献度は低いと考えられる。

3-5. まとめ

本研究では、大臀筋とハムストリングの筋サイズ、股関節伸展の最大筋力、および筋力発揮時の腹腔内圧を計測した。大臀筋とハムストリングの筋サイズを制御変数とした偏相関分析を行った結果、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの間に有意な正の相関関係が認められた。よって、大臀筋とハムストリングの筋サイズとは独立して、腹腔内圧が股関節伸展の最大筋力と関連することが明らかになった。

※本章は、「European Journal of Applied Physiology 117 (6): 1267–1272, 2017」に掲載されている論文を和訳・転載（一部変更）したものである。

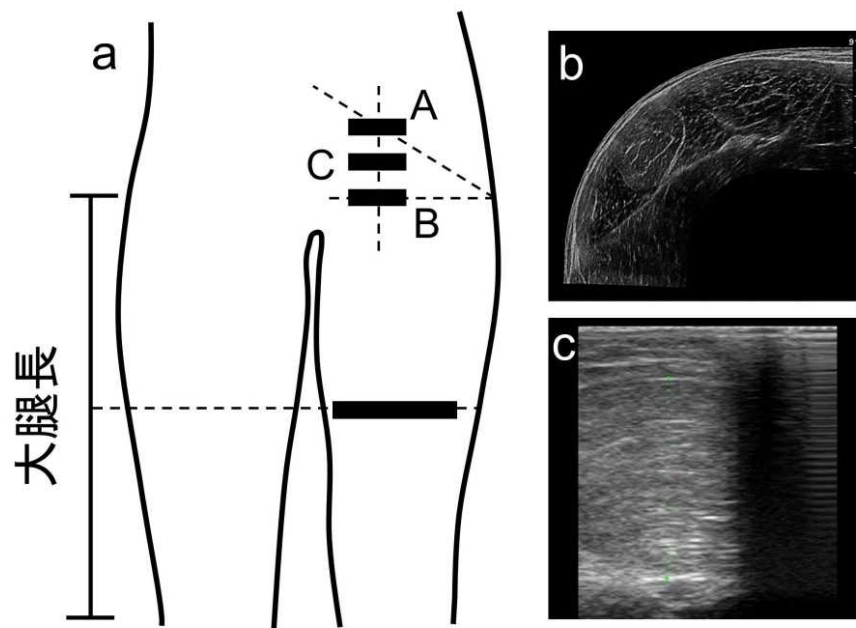


図 2-1. 超音波画像撮像装置を用いた筋サイズ測定の概念図 (a)
 およびハムストリング (b) と大臀筋 (c) の横断画像の典型例.
 A : 仙骨と大転子を結ぶ線上の近位 30%
 B : A の垂直線と大転子レベルの水平線との交点
 C : A と B の中点

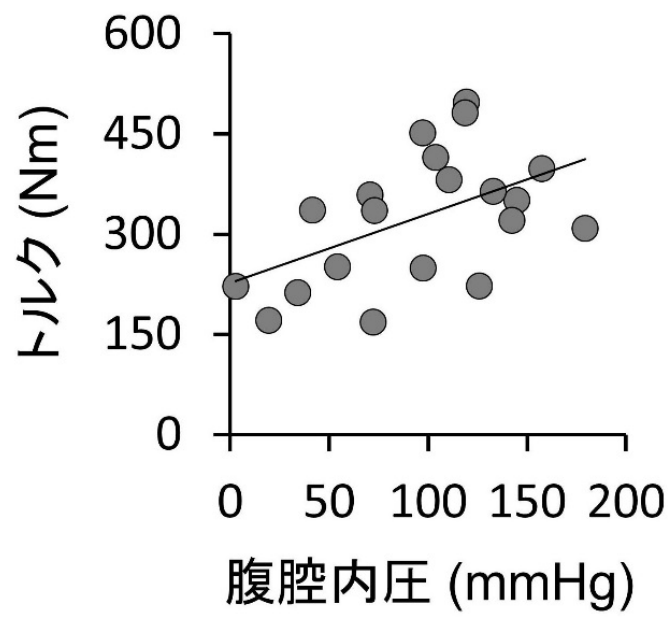


図 2-2. 最大股関節伸展トルクと筋力発揮時の腹腔内圧との関係.

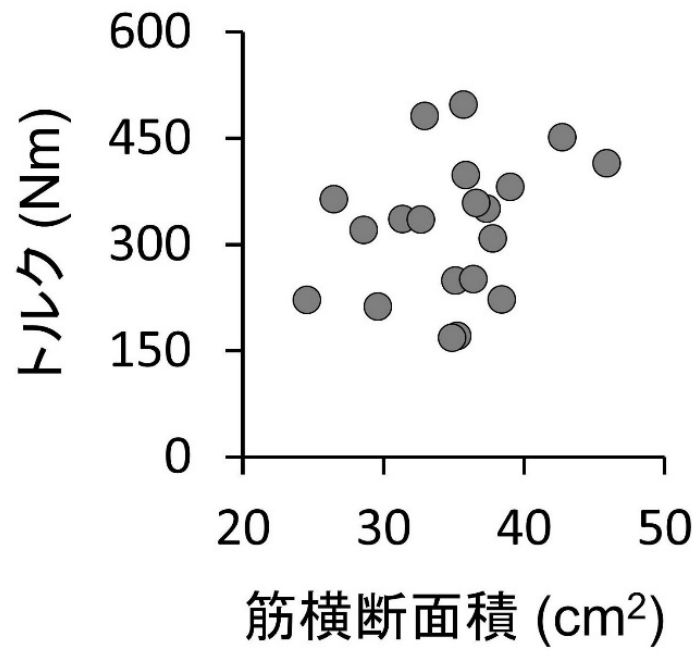


図 2-3. 最大股関節伸展トルクとハムストリングの筋横断面積との関係.

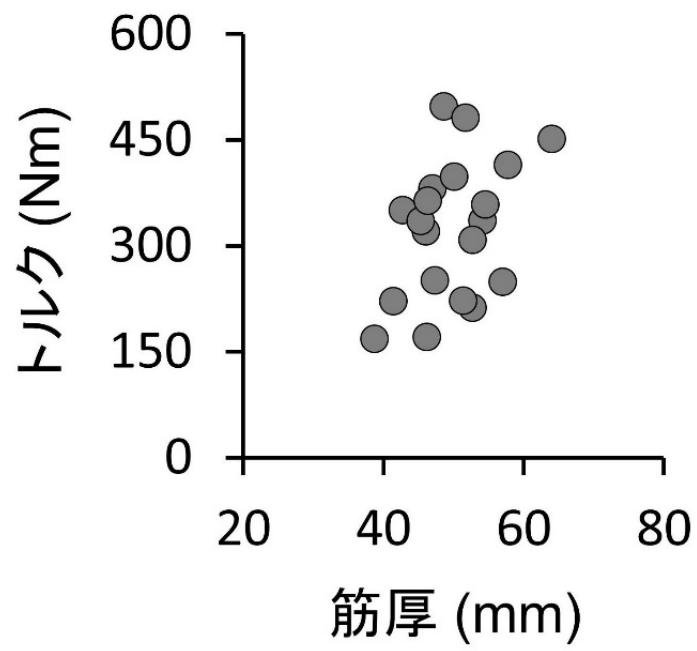


図 2-4. 最大股関節伸展トルクと大臀筋の筋厚との関係.

第 4 章

女性における腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との関連について検討（研究 3）

4-1. 目的

研究 1 の結果から、腹腔内圧は股関節伸展の最大筋力と特異的に関連するだけでなく、股関節伸展の最大筋力に対して影響を及ぼすと考えられる。また、研究 2 では、大臀筋とハムストリングの筋サイズとは独立して、腹腔内圧が股関節伸展の最大筋力と関連することが明らかになっている。これらの知見を踏まえると、腹腔内圧の増加によって股関節伸展の最大筋力が向上するという因果関係が存在すると考えられる。しかしながら、それらの研究で対象とした被検者はすべて男性である。女性の身体が男性の身体を相似的に縮小したものであれば、腹腔内圧は女性と男性で同じになる。一方で、実際には、女性の息み動作（バルサルバ）時の腹腔内圧は男性よりも低い（Essendrop et al. 2004）。これには、男性に対する女性の筋サイズ比が全身で一様でない（Abe et al. 2003）ことが関わっていると考えられる。Abe et al. (2003) によると、女性の体幹筋群の筋横断面積は男性の約 56%であるのに対して、下肢筋群の筋横断面積は男性に対して女性では約 75%であると報告されている（Abe et al. 2003）。そのため、女性においても、大臀筋やハムストリングの筋サイズとは独立して、腹腔内圧が股関節伸展の最大筋力と関連するかは不明である。また、腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との間に関連があった場合でも、腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との間に因果関係が存在するかは分からない。そこで本研究では、女性を対象に、1) 腹腔内圧あるいは大臀筋やハムストリングの筋サイズと股関節伸展の最大筋力との関連、2) 筋力発揮時の肺気量の違いが筋力発揮時の腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力に及ぼす影響、の 2 点について検討した。

4-2. 方法

被検者

四肢と腰部に障害を持たない健常な若年女性 14 名（ 21.4 ± 1.0 歳； 1.64 ± 0.06 m； 60.4 ± 7.0 kg）を被検者とした。全ての被検者は、1 日 30 分以上、週 2 日以上、何らかの運動を定期的 to 実施していた。また、実験開始 24 時間以内での激しい運動は避けるように指示

した。なお、研究実施に先立ち、被検者には実験の目的、測定内容および安全性について十分な説明を行い、実験参加の同意を書面にて得た。本研究は、鹿屋体育大学倫理審査委員会の承認を得た上で実施した。

筋サイズの測定および分析

初めに、前章と同様、超音波画像撮像装置（Pro-sound α 7, Aloka, Japan）を用いて、ハムストリングおよび大臀筋の筋サイズを測定した。筋サイズの測定は、すべて被検者の右脚にて行われた。被検者には、測定中、両脚を肩幅に開き、体重を両脚に均等にかけて立位姿勢を維持するよう指示した。ハムストリングについては、超音波画像撮像装置 B モード法の EFOV 機能を用い、大腿長の近位 50%位置における横断画像を 2 回取得した。得られた画像において、筋横断面積を算出し、2 回の平均値を代表値として扱った。大臀筋に関しては、超音波画像撮像装置 B モード法によって、仙骨と大転子を結ぶ線上の近位 30% (A)、A の垂直線と大転子レベルの水平線との交点 (B)、および A と B の中点 (C) の 3 ヶ所における横断画像を取得した。得られた画像において、筋厚を計測し、3 ヶ所の平均値を代表値として扱った。すべての超音波画像の分析には、画像分析ソフト (Image J, National Institutes of Health, USA) を使用した。

トルク、腹腔内圧、および EMG の測定と分析

a. 測定

筋サイズの測定後、股関節伸展筋力、腹腔内圧、および EMG の測定を行った。被検者の姿勢は、前章と同様、筋力計 (CON-TREX MJ, PHYSIOMED, Germany) の台上での仰臥位とし、股関節および膝関節の角度は 90° とした。その姿勢において、股関節の回転中心を筋力計のアームのそれに合わせ、右大腿部をアームに固定した。胸部、骨盤、および左大腿部は、非伸縮性ベルトを用いて筋力計の台に固定した。また、台に固定された専用のパッドを用いて被検者の肩を筋力計の台に固定することで、筋力発揮時に胴体が動かないようにした。

まず被検者は、最大下および最大努力による股関節伸展の筋力発揮の練習を複数回行った。3 分以上の休息後、被検者は、3–5 秒間の股関節伸展の最大筋力発揮を実施した。なお、被検者は、2 種類（吸気条件と呼気条件）の肺気量条件下において最大筋力発揮を実施した。試行間に 2 分以上の休息を挟み、2 回行わせた。実施する肺気量条件の

順序はランダムとした。1回目と2回目の最大トルクの差が5%以上ある場合には、3回目の測定を行った。最大トルクの差が5%以内の2試行を採用し、以降の分析において使用した。なお、被検者には、筋力発揮時において、腹部や背部を意識しないように指示をした。

股関節伸展筋力発揮時において、直径約1.6 mmの滅菌されたカテーテル型圧力センサー（MPC-500, Millar Instruments, USA）を用いて、肛門から約12–15cmの直腸内圧を腹腔内圧として測定した。センサーには潤滑剤を塗ることで、挿入時の円滑性を確保した。検者が挿入方法を被検者に教示し、被検者が自ら挿入の後、腹部ブレイシングを行うことで圧力が正常に変化することを確認した。

双極誘導によるEMGシステム（ゲイン： $\times 1000$; Bagnoli 8 EMG System, DELSYS, USA）を用いて、筋力発揮時の大臀筋と大腿二頭筋のEMGを計測した。EMG測定においては、電極間距離10 mmの平行バー電極（DE-2.1, DELSYS, USA）を使用した。いずれの筋においても、筋線維走行に沿うように筋腹へ電極を貼付した。なお、電極貼付位置はすべて被検者の右脚とした。大臀筋については、仙骨と大転子を結ぶ線の1/2長の位置に電極を貼付した。大腿二頭筋については、大腿長の50%位置における大腿二頭筋長頭の筋腹中央に電極を貼付した。電極貼付に際して、貼付位置を除毛後、紙やすりで少し削り、アルコール綿で拭き取り、皮膚抵抗を抑えた状態で電極の貼付を行った。

b. 分析

トルク、腹腔内圧、およびEMGのデータは、16ビットのA/D変換器（PowerLab 16/35, ADInstruments, Australia）を用いて2000 Hzでパーソナルコンピューターに同時に記録した。データの分析には、データ解析ソフト（LabChart version 7, ADInstruments, Australia）を用いた。筋力発揮時の腹腔内圧は、安静時から最大トルク時の差分を算出した。すべてのEMG信号は、カットオフ周波数20 Hzのハイパスフィルターをかけた後、全波整流した。各筋のEMGは、最大トルクを挟んだ0.5秒間を分析対象とし、AEMGを算出した。

統計

ピアソンの積率相関係数（ r ）を用いて、最大股関節伸展トルクと腹腔内圧あるいはハムストリングの筋横断面積や大臀筋の筋厚との関連について検討した。また、ハムストリ

ングの筋横断面積および大臀筋の筋厚を制御変数とした偏相関分析によって、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの関連について検討した。さらに、最大股関節伸展トルク、腹腔内圧、AEMGにおいて、対応のある t 検定を用いて肺気量条件間の差を確認した。なお、すべての統計量において、有意水準は 5%とした。統計処理には、統計解析ソフト (SPSS version 22.0, IBM Corp, USA) を使用した。

4-3. 結果

吸気条件および呼気条件ともに、最大股関節伸展トルクと腹腔内圧との間に有意な相関関係は認められなかった (吸気条件 : $r = 0.386$, $P = 0.173$, 呼気条件 : $r = 0.124$, $P = 0.672$) (図 3-1)。また、最大股関節伸展トルクとハムストリングの筋横断面積との間においても、吸気条件および呼気条件ともに有意な相関関係は認められなかった (吸気条件 : $r = -0.259$, $P = 0.372$, 呼気条件 : $r = -0.285$, $P = 0.323$) (図 3-2)。さらに、最大股関節伸展トルクと大臀筋の筋厚との間においても、吸気条件および呼気条件ともに有意な相関関係は認められなかった (吸気条件 : $r = -0.250$, $P = 0.388$, 呼気条件 : $r = -0.432$, $P = 0.123$) (図 3-3)。

ハムストリングの筋横断面積および大臀筋の筋厚を制御変数とした偏相関分析において、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの間に有意な相関関係は認められなかった (吸気条件 : $r = 0.366$, $P = 0.242$, 呼気条件 : $r = 0.000$, $P = 0.999$)。

腹腔内圧は、吸気条件が呼気条件よりも有意に高かった ($P = 0.004$) (図 3-4a)。最大股関節伸展トルクにおいて、吸気条件と呼気条件との間に有意な差は認められなかった ($P = 0.749$) (図 3-4b)。また、大臀筋および大腿二頭筋の AEMG において、吸気条件と呼気条件との間に有意な差は認められなかった (大臀筋 : $P = 0.987$, 大腿二頭筋 : $P = 0.161$) (表 3-1)。

4-4. 考察

女性を対象とした本研究では、いずれの肺気量条件においても、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの間に有意な相関関係は認められなかった (図 3-1)。また、大臀筋やハムストリングの筋サイズの影響を除外した場合においても、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの間に有意な相関関係は認められなかった。さらに、股関節伸展筋力発揮時の腹腔

内圧は、吸気条件が呼気条件よりも有意に高値であったが（図 3-4a）、最大股関節伸展トルクでは条件間に有意な差は認められなかった（図 3-4b）。これらの結果は、男性を対象とした研究（研究 1 と 2）の結果と異なっていた。この点については、総括論議において考察する。

本研究において、最大股関節伸展トルクと大臀筋の筋厚あるいはハムストリングの筋横断面積との間に有意な相関関係は認められなかった（図 3-2, 図 3-3）。この結果は、男性を対象にした前章（研究 2）の結果を支持するものである。前章で述べたように、これらの結果を説明する理由としては、本研究で採用された股関節および膝関節 90 度屈曲位での股関節伸展筋力発揮における両筋の筋活動量の低さが考えられる。つまり、男女にかかわらず、股関節および膝関節 90 度屈曲位での股関節伸展の最大筋力に対する大臀筋およびハムストリングの筋サイズの貢献度は低いと考えられる。

4-5. まとめ

本研究では、女性を対象に、大臀筋とハムストリングの筋サイズ、2 種類の肺気量条件下での股関節伸展の最大筋力および筋力発揮時の腹腔内圧を計測し、各測定項目の関連と条件間の差について検討した。いずれの肺気量条件においても、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの間に有意な相関関係は認められなかった。大臀筋とハムストリングの筋サイズを制御変数とした偏相関分析を行った結果においても、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの間に有意な相関関係は認められなかった。また、股関節伸展筋力発揮時の腹腔内圧は吸気条件が呼気条件よりも有意に高値であったが、最大股関節伸展トルクでは条件間に有意な差は認められなかった。よって、女性においては、腹腔内圧は股関節伸展の最大筋力に対して影響を及ぼさないだけでなく、股関節伸展筋力との関連がないことが明らかになった。

表 3-1. 股関節伸展筋力発揮時の各筋の筋電図振幅値 (mV)

| 課題 | 筋 | 肺気量条件 | | P 値 |
|-------|-------|-----------------|-----------------|-------|
| | | 吸気条件 | 呼気条件 | |
| 股関節伸展 | 大臀筋 | 0.0131 ± 0.0102 | 0.0131 ± 0.0105 | 0.987 |
| | 大腿二頭筋 | 0.0247 ± 0.0211 | 0.0281 ± 0.0240 | 0.161 |

値は平均 ± 標準偏差で示す.

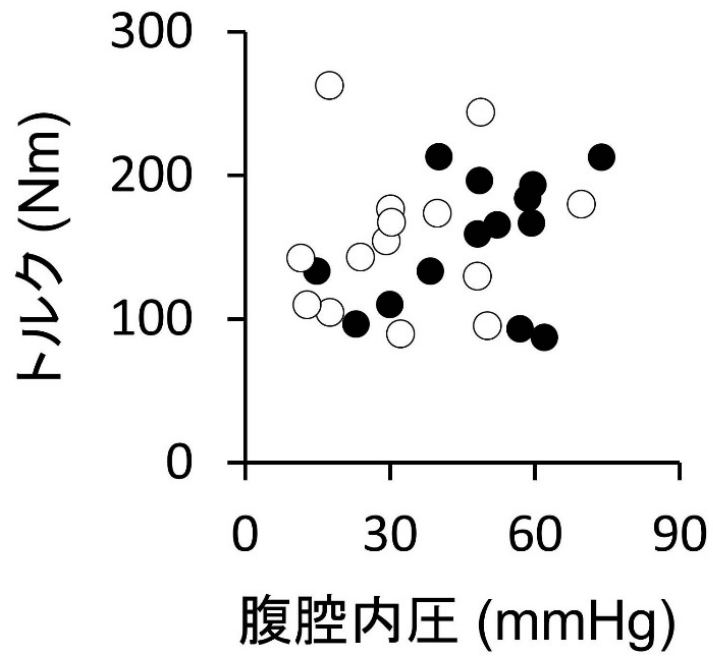


図 3-1. 吸気条件（黒）および呼気条件（白）における
最大股関節伸展トルクと筋力発揮時の腹腔内圧との関係.

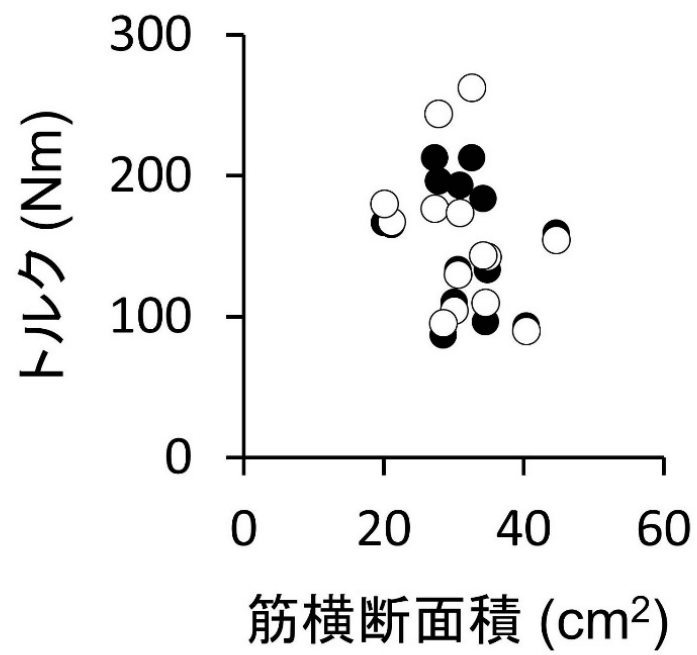


図 3-2. 吸気条件（黒）および呼気条件（白）における
最大股関節伸展トルクとハムストリングの筋横断面積との関係.

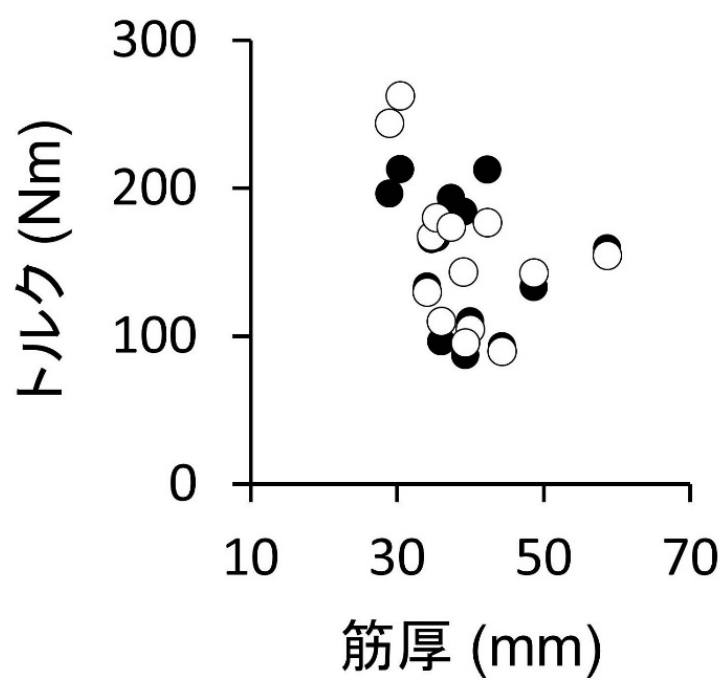


図 3-3. 吸気条件（黒）および呼気条件（白）における最大股関節伸展トルクと大臀筋の筋厚との関係.

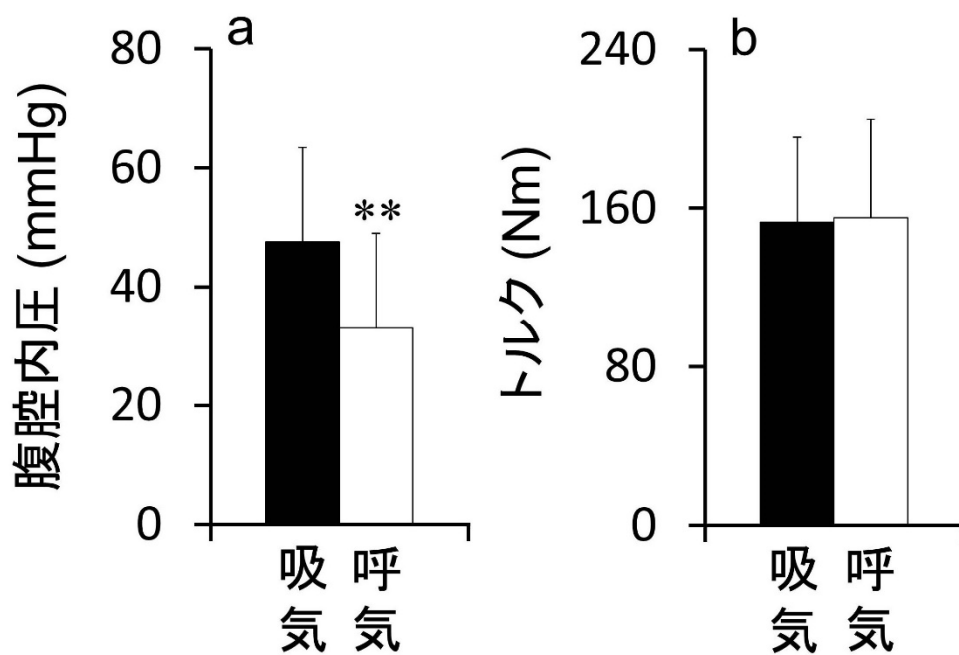


図 3-4. 吸気条件（黒）および呼気条件（白）における筋力発揮時の腹腔内圧（a）と最大股関節伸展トルク（b）.
**：吸気条件との間に有意な差（ $P < 0.01$ ）

第 5 章

総括論議

本論文は、腹腔内圧が下肢筋群の筋力に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。まず、3種類の肺気量条件下での股関節および膝関節における伸展と屈曲の最大筋力ならびに筋力発揮時の腹腔内圧を同時に計測し、各測定項目における条件間の差について検討した（研究1）。また、得られたデータから、腹腔内圧の個人差と最大筋力の個人差との関連についても検討を行った（研究1）。さらに、大臀筋とハムストリングの筋サイズ、股関節伸展の最大筋力、および筋力発揮時の腹腔内圧を計測し、大臀筋やハムストリングの筋サイズの影響を取り除いた際の腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との関連について検討した（研究2）。加えて、男性に比べ腹腔内圧が低い女性を対象に、大臀筋とハムストリングの筋サイズ、2種類の肺気量条件下での股関節伸展の最大筋力および筋力発揮時の腹腔内圧を計測し、股関節伸展の最大筋力と腹腔内圧あるいは大臀筋やハムストリングの筋サイズとの関連、腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力における条件間の差について検討した（研究3）。その結果、以下の知見が得られた。

研究1：すべての条件において腹腔内圧との間に有意な相関関係が認められたのは、最大股関節伸展トルクのみであった。股関節伸展筋力発揮時の腹腔内圧は吸気条件、通常条件、呼気条件の順に高値を示し、最大股関節伸展トルクは吸気条件が呼気条件よりも有意に高値であった。

研究2：大臀筋とハムストリングの筋サイズを制御変数とした偏相関分析を行った結果、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの間に有意な正の相関関係が認められた。

研究3：女性においては、腹腔内圧と最大股関節伸展トルクとの間に有意な相関関係が認められなかった。また、股関節伸展筋力発揮時の腹腔内圧は吸気条件が呼気条件よりも有意に高値であったが、最大股関節伸展トルクでは条件間に有意な差は認められなかった。

これらの結果から、男性では、腹腔内圧が股関節伸展の最大筋力と特異的に関連するだけでなく、股関節伸展の最大筋力に対して直接的に影響を及ぼすが、男性に比べ腹腔内圧が低い女性では、腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との間に関連がないと考えられる。本章では、股関節伸展の最大筋力を向上させる為に必要な腹腔内圧の増加量、男女を含めた腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との関連、腹腔内圧が股関節伸展筋力に影響を及ぼす機

序，個人内および個人間における腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との関連の違いについて考察する．また，本論文の知見から予想される，下肢筋群の筋力やパフォーマンスに対する体幹トレーニングの効果，本研究の限界点と課題について述べる．

股関節伸展の最大筋力を向上させる為に必要な腹腔内圧の増加量

研究 1 において，腹腔内圧では吸気条件と通常条件との間（22.9 mmHg）および通常条件と呼気条件との間（23.8 mmHg）に有意な差が認められたのに対して，最大股関節伸展トルクでは吸気条件と通常条件との間および通常条件と呼気条件との間で有意な差が認められていない．さらに，女性における吸気条件と呼気条件の腹腔内圧の差（14.6 mmHg）では，最大股関節伸展トルクに条件間の有意な差が認められていない（研究 3）．一方で，男性における吸気条件と呼気条件の腹腔内圧の差（46.8 mmHg）では，最大股関節伸展トルクに同条件間の有意な差が観察されている（研究 1）．これらの知見を踏まえると，20–25 mmHg 程度の腹腔内圧の増加では，股関節伸展の最大筋力を向上させることはできず，股関節伸展の最大筋力を向上させる為にはさらに大きな腹腔内圧の増加が必要になると考えられる．また，Hagins et al. (2006) は，腹腔内圧では吸気条件と呼気条件との間（28.0 mmHg）に有意な差が認められたのに対して，デッドリフトの最大筋力では同条件間に有意な差が認められなかったことを報告している．上述した本論文の知見を踏まえると，デッドリフトにおいても，腹腔内圧をさらに大きく増加させれば，最大筋力が向上する可能性がある．

男女を含めた腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との関連

研究 1（男性）と研究 3（女性）の全被検者（ $n=32$ ）のデータを用いて，同一条件における腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との関連について検討した．その結果，肺気量条件にかかわらず，最大股関節伸展トルクと腹腔内圧との間に有意な相関関係が認められた（吸気条件： $r=0.732$, $P<0.001$ ，呼気条件： $r=0.689$, $P<0.001$ ）（図 4-1）．また，肺気量条件間の差について検討したところ，腹腔内圧は，吸気条件（ 84.7 ± 48.7 mmHg）が呼気条件（ 52.0 ± 32.9 mmHg）よりも有意に高値であった（ $P<0.001$ ）（図 4-2a）．また，最大股関節伸展トルクにおいても，吸気条件（ 225.9 ± 94.2 Nm）が呼気条件（ 211.4 ± 85.9 Nm）よりも有意に高値であった（ $P=0.021$ ）（図 4-2b）．前項の内容とこれらの知見を踏まえると，男性に比べ腹腔内圧が低い女性でも，腹腔内圧をさらに大きく増加させれば，股関節伸展の最大筋力が向上する可能性がある．

腹腔内圧が股関節伸展筋力に影響を及ぼす機序

腹腔内圧が股関節伸展筋力に影響を及ぼす機序として、筋力発揮時における腹腔内圧の働きが考えられる。腹腔内圧の増加、すなわち、横隔膜が押し上げ、骨盤底筋群が押し下げられようとすることで、体幹あるいは股関節伸展トルクを発生させることが示されている (Hodges et al. 2001; Miyamoto et al. 1999; Stokes et al. 2010)。第 2 章や第 3 章で得られた知見は、上述した機序が存在することを裏付けるものであると推察される。これらを踏まえると、腹腔内圧の増加によって股関節伸展の最大筋力が向上するという因果関係が存在すると考えられる。一方、腹腔内圧の増加に関与する腹横筋や内腹斜筋などの収縮によって、腰背筋膜を介して体幹あるいは股関節伸展トルクが生じることも示唆されている (Gracovetsky 1988; McGill et al. 1990)。本論文の研究デザインから、上述した 2 つのどちらの経路によって股関節伸展トルクが影響を受けたかを判断することはできない。また、その他の経路が存在する可能性もある。それらを明らかにする為には、異なった研究デザインによる更なる実験が必要である。

個人内および個人間における腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との関連の違い

研究 1 において、腹腔内圧の増加によって股関節伸展の最大筋力が向上するという個人内変化が生じた。また、腹腔内圧の個人差は股関節伸展の最大筋力の個人差と関連し、腹腔内圧が股関節伸展の最大筋力の個人差を規定する因子でもあることが分かった。一方で、研究 2 における個人間の関連性は中程度 ($r = 0.504$) であった。よって、股関節伸展の最大筋力の個人差に対する腹腔内圧の貢献度は低いと考えられる。個人間における最大股関節伸展トルク (被説明変数: y) と腹腔内圧 (説明変数: x) との関連は

$$y = 1.034 x + 226.694$$

で表すことができる。この式に、個人内変化である吸気条件と呼気条件の腹腔内圧の差 (46.8 mmHg) を代入することにより、最大股関節伸展トルクの変化量を推定すると 48.4 Nm となる。これは、個人内変化の実測値 (27.5 Nm) とは大きく異なる値であった。一般的に、最大筋力の個人差を規定する因子としては、筋サイズやモーメントアームなどの解剖学的因子 (Blazevich et al. 2009; Fukunaga et al. 2001) および主働筋の興奮水準や拮抗筋の活動などの神経的因子 (Folland and Williams 2007; Gabriel et al. 2006) が挙げられる。しかし、研究 2 では、ハムストリングや大臀筋の筋サイズと最大股関節伸展トルクは関連し

なかった。したがって、股関節伸展の最大筋力の個人差に対しては、腹腔内圧や筋サイズよりも、他の解剖学的因子あるいは神経系因子が強く影響していると考えられる。一方、肺気量の違いによる最大股関節伸展トルクの変化は、下肢筋群の筋活動量に同条件間の有意差が無かったことから、腹腔内圧の変化によるものであると考えられる。以上を踏まえると、腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力との関連は、個人内と個人間で異なると言える。

下肢筋群の筋力やパフォーマンスに対する体幹トレーニングの効果

ブリッジエクササイズを用いた体幹トレーニングによって股関節伸展の最大筋力は向上するという報告がある (Essa and El-hafez 2016; Hoshikawa et al. 2013)。また、腹部ブレッシングを用いた体幹トレーニングでも股関節伸展の最大筋力は向上することが明らかになっている (Tayashiki et al. 2016a)。さらに、ブリッジエクササイズを用いた体幹トレーニングによって、股関節伸展の最大筋力と関連がある疾走 (渡邊ら 2000) や跳躍 (Fukashiro and Komi 1987; Vanezis and Lees 2005) のパフォーマンスが向上することが報告されている (Imai et al. 2014; Mills et al. 2005; Sharma et al. 2006)。ブリッジエクササイズや腹部ブレッシングは、体幹深層筋を高く活動させるだけでなく、体幹筋群全体を同時収縮させる体幹エクササイズである (Imai et al. 2010; Imai et al. 2016; Tayashiki et al. 2016b)。これらの知見と、腹腔内圧は股関節伸展筋力に対して直接的に影響を及ぼすという本論文の知見を踏まえると、ブリッジエクササイズや腹部ブレッシングを用いた体幹トレーニングを行うことにより、股関節伸展筋力発揮時や疾走、跳躍時の腹腔内圧が増加し、その結果、最大筋力やパフォーマンスの向上が生じたと考えられる。一方で、ブリッジエクササイズを含む体幹トレーニングによって疾走 (Granacher et al. 2014) や跳躍 (Prieske et al. 2016) パフォーマンスは向上しないという報告もある。これは、前述したように、トレーニングによる腹腔内圧の増加量がパフォーマンスを向上させるために必要とされる量に達していなかった可能性がある。

本研究の限界点と課題

本論文では、下肢筋群のレジスタンストレーニングを継続的に行っていない者 (非鍛錬者) を被検者として採用した。このことが結果に影響を及ぼしている可能性がある。非鍛錬者がレジスタンストレーニングを行うと、筋力発揮時の主働筋の筋活動量が増加することが報告されている (Folland and Williams 2007; Gabriel et al. 2006; Narici et al. 1989)。よっ

て、本研究で用いた被検者（非鍛錬者）とレジスタンストレーニングを継続して行っている者（鍛錬者）とでは、ハムストリングや大臀筋の筋サイズと股関節伸展の最大筋力との関連が異なる可能性がある。また、ハムストリングや大臀筋の筋活動量は股関節および膝関節角度によって変化するため（Worrell et al. 2001）、本研究の関節角度（股関節および膝関節 90 度屈曲位）以外における股関節伸展の最大筋力と筋サイズとの関連は不明である。これらについて検討するためには更なる実験が必要である。

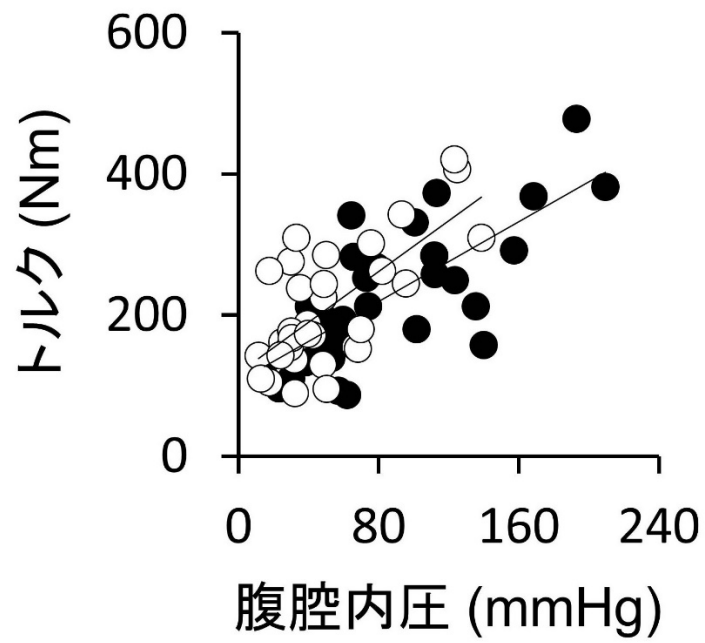


図 4-1. 吸気条件（黒）および呼気条件（白）における
最大股関節伸展トルクと筋力発揮時の腹腔内圧との関係.

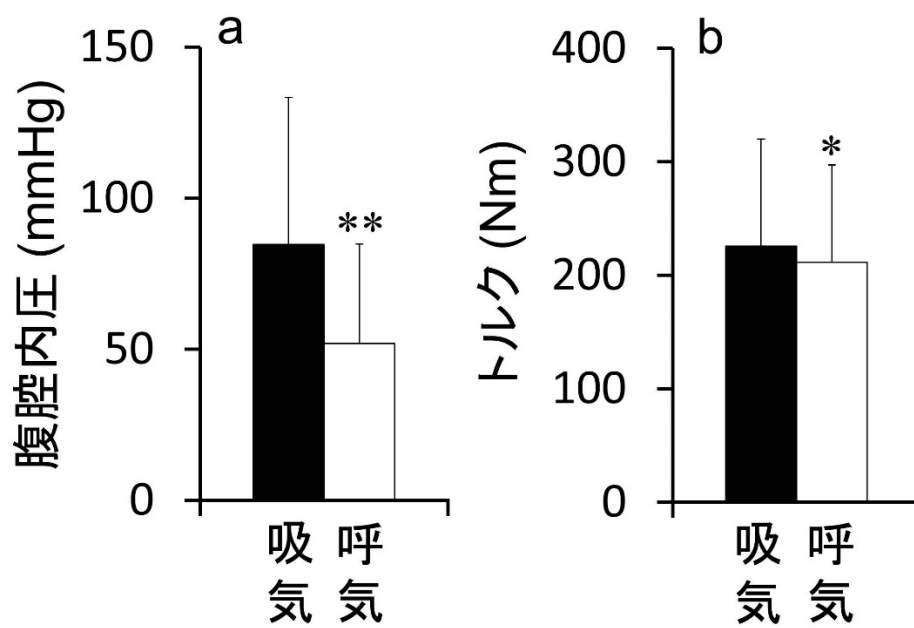


図 4-2. 吸気条件（黒）および呼気条件（白）における筋力発揮時の腹腔内圧（a）と最大股関節伸展トルク（b）.

*：吸気条件との間に有意な差（ $P < 0.05$ ）

**：吸気条件との間に有意な差（ $P < 0.01$ ）

第 6 章

結論

本論文では、腹腔内圧が下肢筋群の筋力に及ぼす影響を明らかにすることを目的にして実験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- ・ 男性被検者においては、十分な腹腔内圧の増加によって股関節伸展の最大筋力は向上し、また、腹腔内圧は、大臀筋やハムストリングの筋サイズとは独立して、股関節伸展の最大筋力と関連する。
- ・ 男性に比べ腹腔内圧が低い女性被検者においては、腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力が関連しない。
- ・ 男女を含めた全被検者においては、腹腔内圧と股関節伸展の最大筋力が関連する。

これらの知見から、少なくとも腹腔内圧が高い被検者においては、腹腔内圧が股関節伸展の最大筋力と特異的に関連するだけでなく、腹腔内圧の十分な増加によって股関節伸展の最大筋力が向上するという因果関係が存在することが明らかとなった。

参考文献

- Abe T, Kearns CF, Fukunaga T (2003) Sex differences in whole body skeletal muscle mass measured by magnetic resonance imaging and its distribution in young Japanese adults. *Br J Sports Med* 37: 436–440
- Akuthota V, Nadler SF (2004) Core strengthening. *Arch Phys Med Rehabil* 85:S86–92
- Behm DG, Drinkwater EJ, Willardson JM, Cowley PM (2010) The use of instability to train the core musculature. *Appl Physiol Nutr Metab* 35: 91–108
- Blazevich AJ, Coleman DR, Horne S, Cannavan D (2009) Anatomical predictors of maximum isometric and concentric knee extensor moment. *Eur J Appl Physiol* 105:869–878
- Bourne MN, Duhig SJ, Timmins RG, Williams MD, Opar DA, Al Najjar A, Kerr GK, Shield AJ (2017) Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring and architecture and morphology: implications for injury prevention. *Br J Sports Med* 51: 469–477
- Butcher SJ, Craven BR, Chilibeck PD, Spink KS, Grona SL, Sprigings EJ (2007) The effect of trunk stability training on vertical takeoff velocity. *J Orthop Sports Phys Ther* 37: 223–231
- Cholewicki J, Juluru K, McGill SM (1999a) Intra-abdominal pressure mechanism for stabilizing the lumbar spine. *J Biomech* 32: 13–17
- Cholewicki J, Juluru K, Radebold A, Panjabi MM, McGill SM (1999b) Lumbar spine stability can be augmented with an abdominal belt and/or increased intra-abdominal pressure. *Eur Spine J* 8: 388–395
- Cholewicki J, Ivancic PC, Radebold A (2002) Can increased intra-abdominal pressure in humans be decoupled from trunk muscle co-contraction during steady state isometric exertions? *Eur J Appl Physiol* 87: 127–133
- Cosio-Lima L, Reynolds KL, Winter C, Paolone V, Jones MT (2003) Effects of physioball and conventional floor exercises on early phase adaptations in back and abdominal core stability and balance in women. *J Strength Cond Res* 17: 721–725
- Cresswell AG, Grundstrom H, Thorstensson A (1992) Observations on intra-abdominal pressure and patterns of abdominal intra-muscular activity in man. *Acta Physiol Scand* 144: 409–

- Cresswell AG, Blake PL, Thorstensson A (1994) The effect of an abdominal muscle training program on intra-abdominal pressure. *Scand J Rehabil Med* 26: 79–86
- Cresswell AG, Thorstensson A (1994) Changes in intra-abdominal pressure, trunk muscle activation and force during isokinetic lifting and lowering. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 68: 315–321
- Dello Iacono A, Padulo J, Ayalon M (2016) Core stability training on lower limb balance strength. *J Sports Sci* 34: 671–678
- Essa MMM, El-hafez SM (2016) Effect of specific training programmes on hip musculature peak torque in osteoporotic patients. *Int J PharmTech Res* 9: 103–109
- Essendrop M, Andersen TB, Schibye B (2002) Increase in spinal stability obtained at levels of intra-abdominal pressure and back muscle activity realistic to work situations. *Appl Ergon* 33: 471–476
- Essendrop M, Trojel Hye-Knudsen C, Skotte J, Faber Hansen A, Schibye B (2004) Fast development of high intra-abdominal pressure when a trained participant is exposed to heavy, sudden trunk loads. *Spine* 29: 94–99
- Folland JP, Williams AG (2007) The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med* 37: 145–168
- Fukashiro S, Komi PV (1987) Joint moment and mechanical power flow of the lower limb during vertical jump. *Int J Sports Med* 8: 15–21
- Fukunaga T, Miyatani M, Tachi M, Kouzaki M, Kawakami Y, Kanehisa H (2001) Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiol Scand* 172: 249–255
- Gabriel DA, Kamen G, Frost G (2006) Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med* 36: 133–149
- Gracovetsky S (1988) *The spinal engine*. New York: Springer-Verlag Wien
- Granacher U, Schellbach J, Klein K, Prieske O, Baeyens JP, Muehlbauer T (2014) Effects of core strength training using stable versus unstable surfaces on physical fitness in adolescents: a randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 40
- Grillner S, Nilsson J, Thorstensson A (1978) Intra-abdominal pressure changes during natural movements in man. *Acta Physiol Scand* 103: 275–283

- Hagins M, Pietrek M, Sheikhzadeh A, Nordin M, Axen K (2004) The effects of breath control on intra-abdominal pressure during lifting tasks. *Spine* 29: 464–469
- Hagins M, Pietrek M, Sheikhzadeh A, Nordin M (2006) The effects of breath control on maximum force and IAP during a maximum isometric lifting task. *Clin Biomech* 21: 775–780
- Harman EA, Frykman PN, Clagett ER, Kraemer WJ (1988) Intra-abdominal and intra-thoracic pressures during lifting and jumping. *Med Sci Sports Exerc* 20: 195–201
- Harman EA, Rosenstein EM, Frykman PN, Nigro GA (1989) Effects of a belt on intra-abdominal pressure during weight lifting. *Med Sci Sports Exerc* 21: 186–190
- Hemborg B, Moritz U (1985) Intra-abdominal pressure and trunk muscle activity during lifting. II. Chronic low-back patients. *Scand J Rehabil Med* 17: 5–13
- Hemborg B, Moritz U, Hamberg J, Holmstrom E, Lowing H, Akesson I (1985) Intra-abdominal pressure and trunk muscle activity during lifting. III. Effect of abdominal muscle training in chronic low-back patients. *Scand J Rehabil Med* 17: 15–24
- Hodges PW, Gandevia SC (2000) Changes in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm. *J Appl Physiol* 89: 967–976
- Hodges PW, Cresswell AG, Daggfeldt K, Thorstensson A (2001) In vivo measurement of the effect of intra-abdominal pressure on the human spine. *J Biomech* 34: 347–353
- Hodges PW, Eriksson AE, Shirley D, Gandevia SC (2005) Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine. *J Biomech* 38: 1873–1880
- Hoshikawa Y, Iida T, Muramatsu M, Ii N, Nakajima Y, Chumank K, Kanehisa H (2013) Effects of stabilization training on trunk muscularity and physical performances in youth soccer players. *J Strength Cond Res* 27: 3142–3149
- Imai A, Kaneoka K, Okubo Y, Shiina I, Tatsumura M, Izumi S, Shiraki H (2010) Trunk muscle activity during lumbar stabilization exercises on both a stable and unstable surface. *J Orthop Sports Phys Ther* 40: 369–375
- Imai A, Kaneoka K, Okubo Y, Shiraki H (2014) Effects of two types of trunk exercise on balance and athletic performance in youth soccer players. *Int J Sports Phys Ther* 9: 47–57
- Imai A, Kaneoka K, Okubo Y, Shiraki H (2016) Immediate effects of different trunk exercise programs on jump performance. *Int J Sports Med* 37: 197–201

- Jamison ST, McNeilan RJ, Young GS, Givens DL, Best TM, Chaudhari AM (2012) Randomized controlled trial of the effects of a trunk stabilization program on trunk control and knee landing. *Med Sci Sports Exerc* 44: 1924–1934
- Jonhagen S, Ackermann P, Saartok T (2009) Forward lunge: a training study of eccentric exercises of the lower limbs. *J Strength Cond Res* 23: 972–978
- Kawabata M, Kagaya Y, Shima N, Nishizono H (2008) Changes in intra-abdominal pressure and trunk activation during drop jump. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports and Sports Medicine* 57: 225–234
- Kawabata M, Shima N, Hamada H, Nakamura I, Nishizono H (2010) Changes in intra-abdominal pressure and spontaneous breath volume by magnitude of lifting effort: highly trained athletes versus healthy men. *Eur J Appl Physiol* 109: 279–286
- Kawabata M, Shima N, Nishizono H (2014) Regular change in spontaneous preparative behaviour on intra-abdominal pressure and breathing during dynamic lifting. *Eur J Appl Physiol* 114: 2233–2239
- Keith A (1923) Man's posture: its evolution and disorders. Lecture VI: The adaptations of the abdomen and its viscera to the orthograde posture. *Br Med J* 24: 587 – 590
- Kibler WB, Press J, Sciascia A (2006) The role of core stability in athletic function. *Sports Med* 36: 189–198
- Legg SJ (1981) The effect of abdominal muscle fatigue and training on the intra-abdominal pressure developed during lifting. *Ergonomics* 24: 191–195
- Masuda K, Kikuhara N, Takahashi H, Yamanaka K (2003) The relationship between muscle cross-sectional area and strength in various isokinetic movements among soccer players. *J Sports Sci* 21: 851–858
- McCarthy TA (1982) Validity of rectal pressure measurements as indication of intra-abdominal pressure changes during urodynamic evaluation. *Urology* 20: 657–660
- McGill SM, Norman RW, Sharratt MT (1990) The effect of an abdominal belt on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure during squat lifts. *Ergonomics* 33: 147–160
- Mills JD, Taunton JE, Mills WA (2005) The effect of a 10-week training regimen on lumbo-pelvic stability and athletic performance in female athletes: A randomized-controlled trial. *Phys Ther in Sport* 6: 60–66

- Miyamoto K, Inuma N, Maeda M, Wada E, Shimizu K (1999) Effects of abdominal belts on intra-abdominal pressure, intra-muscular pressure in the erector spinae muscles and myoelectrical activities of trunk muscles. *Clin Biomech* 14: 79–87
- Morris JM, Lucas DB, Bresler B (1961) Role of the trunk in stability of the spine. *J Bone & Joint Surg* 43: 327–351
- Narici MV, Roi GS, Landoni L, Minetti AE, Cerretelli P (1989) Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 59: 310–319
- Panjabi M, Abumi K, Duranceau J, Oxland T (1989) Spinal stability and intersegmental muscle forces. A biomechanical model. *Spine* 14: 194–200
- Prieske O, Muehlbauer T, Borde R, Gube M, Bruhn S, Behm DG, Granacher U (2016) Neuromuscular and athletic performance following core strength training in elite youth soccer: role of instability. *Scand J Med Sci Sports* 26: 48–56
- Richardson C, Jull G, Hodges PW, Hides J (1999) Therapeutic exercise for spinal segmental stabilization in low back pain: scientific basis and clinical approach. Edinburgh (NY): Churchill Livingstone
- Sharma A, Geovinson SG, Singh Sandhu J (2012) Effects of a nine-week core strengthening exercise program on vertical jump performances and static balance in volleyball players with trunk instability. *J Sports Med Fitness* 52: 606–615
- Stokes IA, Gardner-Morse MG, Henry SM (2010) Intra-abdominal pressure and abdominal wall muscular function: spinal unloading mechanism. *Clin Biomech* 25: 859–866
- 田屋敷 幸太 (2015) 体幹筋群の最大随意同時収縮 (ブレイシング) トレーニングが腹部筋厚, 腹腔内圧, 外乱刺激に対する体幹の制動性および四肢の筋力・動作パフォーマンスに及ぼす効果. 鹿屋体育大学大学院修士論文
- Tayashiki K, Maeo S, Usui S, Miyamoto N, Kanehisa H (2016a) Effect of abdominal bracing training on strength and power of lower limb muscles. *Eur J Appl Physiol* 116: 1703–1713
- Tayashiki K, Takai Y, Maeo S, Kanehisa (2016b) Intra-abdominal pressure and trunk muscular activities during abdominal bracing and hollowing. *Int J Sports Med* 37: 134–143

- Tayashiki K, Hirata K, Ishida K, Kanehisa H, Miyamoto N (2017) Associations of maximal voluntary isometric hip extension torque with muscle size of hamstring and gluteus maximus and intra-abdominal pressure. *Eur J Appl Physiol* 117: 1267–1272
- Tayashiki K, Mizuno F, Kanehisa H, Miyamoto N (2018) Causal effect of intra-abdominal pressure on maximal voluntary isometric hip extension torque. *Eur J Appl Physiol* 118: 83–99
- Vanezis A, Lees A (2005) A biomechanical analysis of good and poor performers of the vertical jump. *Ergonomics* 15: 1594–1603
- 渡邊 信晃, 榎本 好孝, 大山 圭吾, 狩野 豊, 安井 年文, 宮下 憲, 久野 譜也, 勝田 茂 (2000) スプリンターの股関節筋力とスプリント走パフォーマンスとの関係. *体育学研究* 45: 520–529
- Willardson JM (2007) Core stability training: applications to sports conditioning programs. *J Strength Cond Res* 21: 979–985
- Worrell TW, Karst G, Adamczyk D, Moore R, Stanley C, Steimel B, Steimel S (2001) Influence of joint position on electromyographic and torque generation during maximal voluntary isometric contractions of the hamstrings and gluteus maximus muscles. *J Orthop Sports Phys Ther* 31: 730–740

謝辞

最終章までを書き終えた今、本論文を構成する研究を実施する上でご支援とご協力頂いたすべての方の顔を思い浮かべながら、これを書いています。

本論文を構成するすべての研究は、博士後期課程の指導教員である鹿屋体育大学准教授宮本直和先生の指導の下に行われました。宮本先生には、当てもなく彷徨っていた私を受け入れ、研究の道しるべを示して頂きました。成果主義という先生のご姿勢にプレッシャーを感じる日々でしたが、その中でも私のやりたいことを優先させて頂き、充実した3年間を過ごすことが出来ました。宮本先生がいなければ、博士後期課程の学生生活を終えることは想像出来ませんでした。常に厳しく熱心なご指導を頂き、心より厚く御礼申し上げます。

修士課程の指導員である鹿屋体育大学教授金久博昭先生には、現在に至るまでのすべての研究において、常に真摯なご指導賜りました。金久先生に出会わなければ、博士後期課程への進学を決意することは無かったと思います。本論文においても副査を担当して頂き、深く感謝申し上げます。また、鹿屋体育大学准教授吉武康栄先生には、副査をご快諾頂き、ミーティングや日常において温かくご指導やご助言頂きました。在学中、吉武先生の研究に対する真摯な姿に幾度も心打たれました。この場をお借りして、先生に心より感謝申し上げます。

鹿屋体育大学研究員平田浩祐氏、鹿屋体育大学大学院木村範子氏、鹿屋体育大学体育学部石田季楽氏、鹿屋体育大学体育学部水野文裕氏、鹿屋体育大学体育学部水谷晴佳氏には、一連の研究における共同研究者としてご指導とご協力賜りました。皆様のご指導やご協力なしに、本論文の研究を遂行することは出来ませんでした。また、鹿屋体育大学教授山本正嘉先生、鹿屋体育大学准教授高井洋平先生、Loughborough 大学研究員前大純朗氏には、本論文に関連した研究を始めるにあたり、多大なるご協力頂きました。皆様にこの場をお借りして御礼申し上げます。さらに、鹿屋体育大学大学院塩見玲子氏、鹿屋体育大学大学院渡邊裕宣氏、鹿屋体育大学大学院鷺野壮平氏、鹿屋体育大学大学院内田大樹氏、鹿屋体育大学体育学部陳泰之氏には、数々のご助言頂くとともに常に励ましの言葉を賜りました。時に真摯に研究に取り組み、時に子供の様に楽しく騒ぐ皆様が傍にいてくれたからこそ、毎日研究室に行くのが楽しみで辛い時も途中で投げ出すことなくやれたのではないかと考えております。皆様と過ごした時間は、私にとって何にも替え難い貴重な財産となってい

ます。皆様に心より感謝申し上げます。加えて、本論文の研究を実施するに当たり、実験実施にご協力頂いた方々および参加して頂いた多数の被検者の方々に感謝の意を表する次第です。

最後に、9年間に及ぶ大学生活をご理解とご支援頂いた家族に感謝の意を述べさせて頂き、本論文の謝辞といたします。皆様に心より厚く御礼申し上げます。本当にありがとうございました。

平成30年1月 田屋敷 幸太