

座位姿勢における動的バランス能力と
体幹筋横断面積の関係の解明
—チェアスキー競技におけるパフォーマンス向上を目指して—

芝浦工業大学 赤木 亮太
(共同研究者) 同 飯塚 浩二郎
芝浦工業大学大学院 平田 浩祐
日本学術振興会特別研究員

**Clarification of The Relationship Between Dynamic Balance Ability in
The Sitting Position and Muscle Cross-Sectional Area of Trunk Muscles
—Aiming to Improve Performance in Sit-Ski—**

by

Ryota Akagi, Kojiro Iizuka
*College of Systems Engineering and Science,
Shibaura Institute of Technology*
Kosuke Hirata
*Graduate School of Engineering and Science,
Shibaura Institute of Technology*
Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science

ABSTRACT

The current study investigated the relationships between muscle cross-sectional areas of trunk muscles and dynamic balance ability in the sitting position for 14 healthy young men in order to obtain knowledge about improvement of performance in sit-ski. The cross-sectional images of the erector spinae muscle, the abdominal rectus muscle and the abdominal internal-external oblique muscles were obtained by extended field-of-view ultrasound imaging. Their cross-sectional areas were determined using ImageJ.

To evaluate the dynamic balance ability in the sitting position, a floor reaction force meter was fixed on a six-axis motion base used as a disturbance applier, and a chair ski seat was placed on it. Participants sat on the seat, and the following disturbances were applied: 1) disturbances to move the basal plane laterally, 2) disturbances to tilt the basal plane, and 3) disturbances to add both simultaneously. Because the dominant arm of all participants was the right arm, the laterality was first confirmed for all parameters. As a result, there was no laterality in each parameter. When investigating the relationships between the muscle cross-sectional areas of each muscle and the dynamic balance ability in the sitting position, therefore, the left and right mean values were used. There was a significant correlation between the muscle cross-sectional area of the abdominal rectus muscle and the dynamic balance ability. On the other hand, the muscle cross-sectional area of the abdominal rectus muscle was smaller than the others. Consequently, it could not be asserted that the amount of the muscle cross-sectional area of the trunk muscle affects the dynamic balance ability in the sitting position positively.

要 旨

本研究では、チェアスキー競技におけるパフォーマンス向上に関する知見を獲得するために、健常な若年男性14名を対象に、体幹筋横断面積と座位姿勢における動的バランス能力との関係を検討した。超音波診断装置のパノラマ撮像モードを用いて、脊柱起立筋、腹直筋及び内腹斜筋-外腹斜筋の3筋の横断画像を取得し、筋横断面積を測定した。座位姿勢における動的バランス能力を測定する際には、外乱印加装置として使用する六軸モーションベース上に床反力計を固定し、さらにその上にチェアスキーのシートを乗せた。参加者にはその上に座るよう指示し、以下の3つの外乱を印加した際の動的バランス能力を評価した：1) 基底面を側方に動かす外乱、2) 基底面に傾斜をつける外乱、3) その両者を同時に付加する外乱。腹直筋の筋横断面積と傾斜外乱時の動的バランス能力に一部有意な相関関係がみられた。しかしながら、腹直筋よりも大きな横断面積

を有する他の2筋と動的バランス能力との間に有意な相関がみられなかったことを加味すると、今回の結果を以て、体幹筋の筋横断面積の多寡が座位姿勢時の動的バランス能力に影響を及ぼすと断言するには至らなかった。

緒 言

身体・知的障害などを有する人が行う障害者スポーツは、既存のスポーツのルールを障害者の特性に応じて修正したうえで実施しているものが多い。それ故、健常者が立位で行っている競技を座位姿勢に変更し、パラリンピックで開催される競技も数多くある。

その内の1つに、チェアスキーが存在する。冬季パラリンピックの競技種目であるチェアスキーは、座位姿勢で実施される競技の中で最も速度が要求され、脊髄損傷、下腿切断などの下肢に障害を持つスキーヤーが、座席にスキー板を固定して雪面を滑走するスキー競技である¹⁾。チェアスキーで使用する用具は機構や構成にルール上の厳

しい制約がないため、パフォーマンス向上（タイムの短縮）に向け、様々な国・企業が用具の研究開発を進めている。しかしながら、それらの用具はあくまでも滑走を補助するものに過ぎない。これまで、チェアスキーの滑走操作に関する研究はほとんど実施されていない^{2,3)}ため、実際にプレーヤーにどのような動きが求められるのか、断定することは難しい。しかしながら、滑走の際に限られた体幹や上肢のみでのターンが要求されることを考慮すると、チェアスキーにおいて、不安定な環境下で座位姿勢を調整、維持する動的バランス能力が必要となることが推察される。

座位姿勢における動的バランス能力を高めるためには、脊柱起立筋（ES）を主とする体幹伸筋群、腹直筋（RA）や内腹斜筋-外腹斜筋（IO-EO）などを主とする体幹屈筋群の、巧緻な収縮・協調が不可欠であることが予想される。そして、立位姿勢において、下腿の筋横断面積や筋体積が小さいほど身体動揺が大きくなる^{4,5)}ことを考慮すると、座位姿勢においても同様に、動的バランス能力の向上には体幹筋の筋横断面積や筋体積の大きさが重要であることが示唆される。また、スポーツ選手において体幹筋群の筋横断面積には利き側-非利き側間差が生じ得る⁶⁾ことが指摘されているが、この可能性をチェアスキーヤーに適用すると、障害を有する側とそうでない側との間に、差が生じる可能性が考えられる。その場合、座位姿勢時における身体重心位置のチェアスキーの中心軸からのずれ、ひいては、ターン動作等を含めた動的バランス能力にも影響を及ぼす可能性が予想される。これらの示唆・予想が実際にどうか検証するためのファーストステップとして、本研究では、健常者を対象に、座位姿勢において外乱を加えた際の動的バランス能力を評価し、体幹筋横断面積との関係を、利き腕を加味して検討することを目的とした。

1. 方法

1.1 参加者

定期的な運動習慣のない、健常な若年男性14名（年齢：21±1歳，身長：169.3±5.9cm，体重：57.5±6.4kg，BMI：20.0±1.6kg/m³，腹囲：70.8±4.1cm；平均±標準偏差）が本研究に参加した。実験に先立ち、参加者の利き腕及び利き脚（ボールを蹴る脚を利き脚と定義）を確認したところ、いずれの参加者も右腕及び右脚が利き腕・利き脚であった。すなわち、本研究において、左右差がそのまま利き側・非利き側を意味することとなった。参加者に対して、口頭と文書により本研究の目的、内容、考えられるリスクについて説明し、実験開始までに書面にて参加の同意を得た。本研究は芝浦工業大学生命工学研究倫理審査委員会の承認を受けて実施された。

1.2 体幹筋横断面積測定

本研究では、Tanaka et al.の先行研究⁷⁾を参考に、ES、RA及びIO-EOの横断画像を、超音波診断装置（ACUSON S2000, Siemens Medical Solutions）のパノラマ撮像モードを用いて取得した。撮像個所についてはヤコビー線を基準とした。各横断画像の取得の際には、ヤコビー線上で超音波診断装置のプロープ（9L4 Transducer, 4-9MHz, Siemens Medical Solutions）を動かせるよう、図1のような撮像補助具を上下に貼付した。最初に、参加者にはベッドの上で伏臥位を取らせた。そして、左右の腸骨稜に印を付け、二点を結んだヤコビー線上で、プロープを左腸骨稜から右腸骨稜の向きに動かし、ESの横断画像を左右ともに取得した。続いて、参加者に仰臥位を取らせ、RAの撮像を実施した。撮像の際は、右側のRAの右端から左側のRAの左端方向へプロープを動かした。最後にIO-EOの撮像を実施した。参加者に右側臥位を取らせ、腹部左側端から左腸骨稜の向きに



図1 筋横断面画像撮像時の補助具

撮像した。反対側の撮像の際は、左側臥位を取らせて、同様の手順で実施した。各筋の撮像は3回ずつとした。撮像はすべて同一の検者が実施した。各筋の撮像の際は、参加者には一度リラックスした上で、呼吸を静かに止めておくよう指示した。

取得した画像における各筋の横断面積を、画像解析ソフト (ImageJ, National Institute of Health) を用いて算出した。各筋3枚の平均値を代表値として採用した。

1. 3 動的バランス測定

動的バランスの測定には、外乱印加装置として使用する六軸モーションベース (MB-150, COSMATE) 上に固定された床反力計 (9286A, KISTLER) を用いた。チェアスキーのシートは、床反力計の上に乗せて固定された。参加者は両膝をバンドで固定され、足裏が接地しない状態でチェアスキーのシートに座った。測定を実施する際は、参加者には、目の高さにある3m先の目印に視線を向け、両腕を胸の前で組むように指示した。その状態で、1) 基底面を側方 (左右どちらか) に動かす外乱、2) 基底面に傾斜をつける (基底面を左右どちらかに傾ける) 外乱、3) その両者を同時に付加する (側方・傾斜ともに右あるいは左の) 外乱、の3つの外乱 (周波数: 1.3Hz, 変位:

7.0cm, 角度変化: 10deg) を印加した。各々の外乱は、利き腕側/非利き腕側方向それぞれにおいて3回ずつ印加した。印加の順番はランダムとした。

動的バランスの評価項目は、身体動揺に伴う身体重心 (COM) の変位量及び頭部屈曲角度の変化量とした。本研究では、チェアスキーの競技を想定した際、これらの指標を最小限に止めることが、動的バランス能力の高さを示すものと見なした。両者を算出するために、参加者の身体10ヶ所 (頭頂, 両側肩峰, 第7頸椎, 第12胸椎, 第4腰椎, 両側上前腸骨棘, 両側大転子) に反射マーカを取り付けた。マーカー位置は三次元動作解析システム (MAC3D, Motion Analysis, サンプル周波数: 200Hz) を用いて取得した。COMのサンプル周波数は200Hzとした。

COMはWinter⁸⁾を参考にして算出した。体幹と骨盤の2つのセグメントに分割し、各セグメントの絶対座標 (x, y, z) を式 (1) より求め、COMを式 (2) より求めた。

$$\begin{cases} x = x_p \times l_d + x_d \times l_p \\ y = y_p \times l_d + y_d \times l_p \\ z = z_p \times l_d + z_d \times l_p \end{cases} \quad \text{式 (1)}$$

ここで、 x_p, y_p, z_p : 近位の絶対座標, x_d, y_d, z_d : 遠位の絶対座標, l_p, l_d : セグメント長に対して、近位端 (p) と遠位端 (d) からCOMが、何割の所に位置するかを示す定数, x座標: 身体の前方向, y座標: 身体の左右方向, z座標: 身体の上方向, である。

$$\begin{cases} COM_x = \frac{\sum_{i=1}^8 m_i x_i}{\sum_{i=1}^8 m_i} \\ COM_y = \frac{\sum_{i=1}^8 m_i y_i}{\sum_{i=1}^8 m_i} \\ COM_z = \frac{\sum_{i=1}^8 m_i z_i}{\sum_{i=1}^8 m_i} \end{cases} \quad \text{式 (2)}$$

ここで、 m_i : セグメント質量, である。

本研究では身体の左右動揺を主として扱うので $COM = COM_y$ と定義した。

頭部屈曲角度 θ は、第7頸椎棘突起から頭頂部

へのベクトルA, 第12胸椎棘突起へのベクトルB, 2つのなす角とし, 式(3)により算出した.

$$\theta = \arccos\left(\frac{\vec{A} \times \vec{B}}{|\vec{A}| \times |\vec{B}|}\right) \times \frac{180}{\pi} \quad \text{式(3)}$$

COM, 頭部屈曲角度とともに, 各試行における変位量あるいは変化量の最大値を代表値として採用した.

1. 4 統計分析

すべての測定データを平均 ± 標準偏差で表す. 統計分析にはSPSS (ver24, IBM) を使用した. 最初に, 筋横断面積, COMの変位量及び頭部屈曲角度の変化量に利き腕側・非利き腕側の差が生じているか確認するために, 二元配置分散分析(測定側[利き腕・非利き腕] × 測定筋[ES, RA, IO-EO]あるいは外乱方向[側方, 傾斜, 両方])を実施した. その結果, いずれのパラメータにおいても有意な交互作用及び測定側の主効果が確認されない場合には, 各筋横断面積と各外乱方向におけるCOMの変位量あるいは頭部屈曲角度の変化量との相関関係を, 各々利き腕側・非利き腕側の平均値を用いて, ピアソンの積率相関係数により検討した. 危険率5%未満をもって統計的に有意とした.

2. 結果

図2に筋横断面積, 図3にCOMの変位量, 図4に頭部屈曲角度の変化量を, 利き腕側・非利き腕側に分けて示す. いずれのパラメータに関しても, 有意な交互作用及び測定側の主効果は認められなかった.

筋横断面積とCOMの変位量あるいは頭部屈曲角度の変化量との関係(表1)は, RAの筋横断面積と傾斜方向の外乱における頭部屈曲角度の変化量との間にのみ, 有意な相関関係がみられた($r = -0.598, P = 0.024$). また, ESの筋横断面積と傾斜方向の外乱における頭部屈曲角度の変化量との

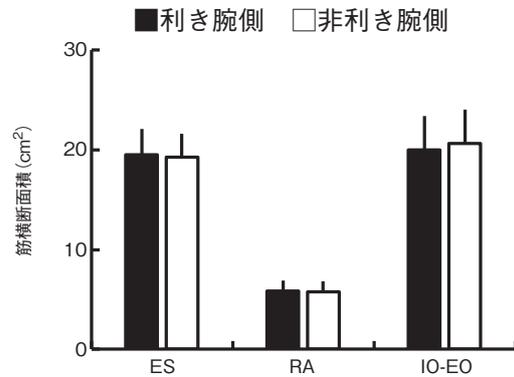


図2 脊柱起立筋(ES), 腹直筋(RA)及び内腹斜筋-外腹斜筋(IO-EO)の横断面積(n = 14)

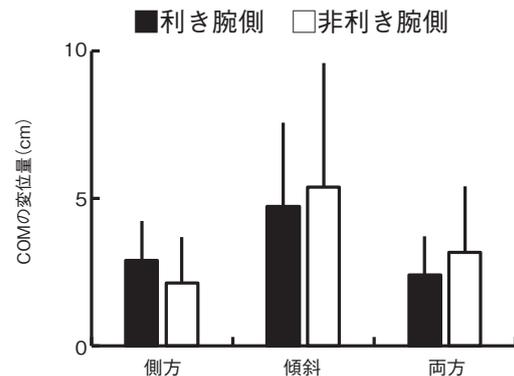


図3 側方, 傾斜及びその両方の方向への外乱印加時の身体重心(COM)の変位量(n = 14)

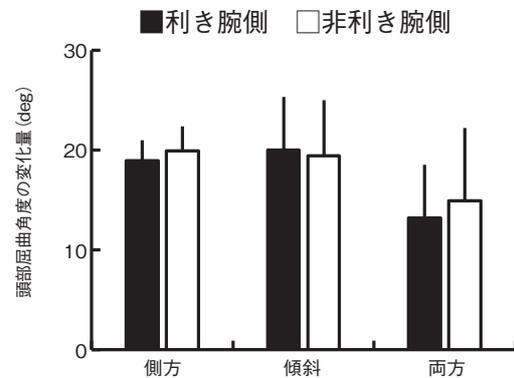


図4 側方, 傾斜及びその両方の方向への外乱印加時の頭部屈曲角度の変化量(n = 14)

表1 脊柱起立筋(ES), 腹直筋(RA)及び内腹斜筋-外腹斜筋(IO-EO)の横断面積と身体重心(COM)の変位量あるいは頭部屈曲角度の変化量との間の相関係数(n = 14)

		ES	RA	IO-EO
COM 変位量	側方	0.043	-0.224	0.413
	傾斜	0.027	0.034	0.238
	両方	0.209	0.170	-0.060
頭部 屈曲角度 変化量	側方	0.353	-0.159	-0.177
	傾斜	-0.506 [#]	-0.598 [*]	-0.042
	両方	-0.279	-0.070	0.313

*:P<0.05, #:0.05≤P<0.10

間の相関係数は、有意傾向であった (r = - 0.506, P = 0.065).

3. 考 察

本研究では、利き腕側と非利き腕側の間に、筋横断面積 (図2), COMの変位量 (図3) 及び頭部屈曲角度の変化量 (図4), いずれも違いはみられなかった。本研究の参加者は健常な若年男性で、特別な競技に従事しているわけではなかった。それ故、先行研究⁶⁾のように、スポーツ選手において観察されるような体幹筋群の筋サイズの左右差は生じず、また、座位姿勢における動的バランス能力にも左右差がなかったと推察される。

筋横断面積と座位姿勢における動的バランス能力との間には、一部、負の相関関係がみられた (表1)。このことは、筋横断面積が大きいほど動的バランス能力が高いことを意味するものであり、一見、立位時の姿勢制御能力と下腿の筋横断面積あるいは筋体積との間にみられるような相関関係^{4,5)}と一致していると考えられる。しかしながら、RAよりも大きな横断面積を有する他の2筋と動的バランス能力との間に有意な相関がみられなかったことを加味すると、今回の結果を以て、体幹筋の筋横断面積の多寡が座位姿勢時の動的バランス能力に影響を及ぼすと断言することは難しい。本研究では、超音波診断装置の限界もあり、体幹筋の中でも表層に位置する3筋のみを対象とした。今後、磁気共鳴画像法を用いて、より多くの体幹筋の横断面積あるいは体積を測定し、

座位姿勢時の動的バランス能力との関係について詳細に検討することが求められる。それに加えて、今回のような外乱を与えた際のRAの筋活動量を今後捉えることで、小さな筋ながらも、動的バランス能力に対し大きな貢献を果たしているかどうか、確認する必要がある。また、健常な若年男性であった本研究の参加者は、日常生活の中で、座位姿勢時に上半身の動的バランスを求められる際は、下肢を使用してバランスを確保していたことが予想される。それ故、体幹筋横断面積と当該動的バランス能力との関係を横断的に見ることが難しかった可能性もある。今後、健常者を対象に同様の関係性について検討する際は、一定期間に亘る介入実験等を実施することが適切かもしれない。

4. 結 論

本研究では、チェアスキー競技におけるパフォーマンス向上に関する知見を獲得するために、健常な若年男性を対象に、体幹筋 (ES, RA 及び IO-EO) の筋横断面積と座位姿勢時の動的バランス能力との関係を検討した。その結果、一部有意な相関関係はみられたものの、それが3筋の中で最も筋横断面積の小さかったRAとの間にみられた相関関係であったことから、体幹筋の筋横断面積の多寡が座位姿勢時の動的バランス能力に影響を及ぼすと断言するには至らなかった。

謝 辞

本研究に対し、助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 飯塚浩二郎, 廣瀬圭, パラアルペンスキーにおける科学的取り組み I~チェアスキー用カウルの流体解析~ (<特集>オリンピック・パラリンピックに貢献するスポーツ工学), 日本機械学会誌,

- 121: 14–15(2018)
- 2) 菅嶋康浩, 加藤尊, 肥田満裕, チェアスキーの滑走操作に関する基礎研究. *人間工学*, **52** (Supplement): 260–261(2016)
 - 3) 田中利明, 矢部 京之助, ジャパンパラリンピック出場チェアスキーヤーにおけるアウトリガーの重要性について. *障害者スポーツ科学*, **4**: 19–28(2006)
 - 4) Ushiyama J., Masani K., Relation between postural stability and plantar flexors muscle volume in young males, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **43**: 2089–2094(2011)
 - 5) Kouzaki M., Masani K., Postural sway during quiet standing is related to physiological tremor and muscle volume in young and elderly adults, *Gait Posture*, **35**: 11–17(2012)
 - 6) 村松正隆, 星川佳広, 飯田朝美, 井伊希美, 中嶋由晴, 高校生スポーツ選手の体幹筋群の筋サイズ-性差と競技種目差の検討-. *体育学研究*, **55**: 577–590(2010)
 - 7) Tanaka N.I., Ogawa M., Yoshiko A., Ando R., Akima H., Reliability of size and echo intensity of abdominal skeletal muscles using extended field-of-view ultrasound imaging, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **117**: 2263–2270(2017)
 - 8) Winter D.A., *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*(4th Edition). New York, NY: John Wiley(2009)