

資料

立位における体幹回旋の筋力評価ならびに重心移動訓練機器の紹介

片山 訓博¹⁾*, 稲岡 忠勝¹⁾, 平賀 康嗣¹⁾, 明崎 禎輝¹⁾, 辻 博明²⁾

Standing Trunk Rotation Strength Evaluation and Center of Gravity Movement Training Device

Kunihiro Katayama, RPT, PhD¹⁾*, Tadakatsu Inaoka, RPT¹⁾, Yasushi Hiraga, RPT, MA¹⁾,
Yoshiteru Akezaki, RPT, PhD¹⁾, Hiroaki Tsuji, PhD²⁾

要 旨

現在、体幹や上肢の筋力評価は高価な専用機器を必要とすることが多く、日常生活動作に即した立位での動的な評価も十分に行われていない。実生活に近い状況で、簡便かつ詳細に身体機能の評価できる手法の確立が喫緊の課題となっている。

高価な機器に頼らず、デジタルラチェットレンチと足部荷重測定機器を組み合わせた新規評価方法を提案する。上肢が力を発揮する際の体幹の安定性と出力の因果関係を解明し、身体機能評価における新たなエビデンスを構築することを目的とする。

被験者の立位において、デジタルラチェットレンチによる体幹回旋トルクと、足部荷重測定機器による重心移動(COP)を同時計測する。本研究では、重心軌跡を「目的とする動作を遂行するために、中枢神経系が姿勢調節機能を活用し、支持基底面内で重心をどのようにマネジメントしたかというプロセス」と定義し、その動的な制御戦略を詳細に分析する。

予備実験の結果、体幹回旋運動時のトルク値として最大14.9 N・mを計測し、本手法による定量的なデータ取得が可能であることを確認した。現在はトルク値、上肢筋力、および重心軌跡の相関について、具体的な評価指標の策定に向けた分析を進めている。

本研究の成果は、多岐にわたる分野への貢献が期待される。産業保健分野では作業負荷の定量的評価を通じた労働災害の予防や生産性向上に寄与し、リハビリテーションやスポーツ科学分野では、慢性腰痛患者やアスリートへの個別化された介入プログラムの立案を可能にする。特に重心軌跡の解析から得られる知見は、片麻痺、パーキンソン病、プッシュャー症候群、半側空間無視といった疾患に伴う姿勢制御障害に対し、病態生理に即した新たな訓練手法を確立する一助となることが期待される。

キーワード 体幹回旋運動, 筋力測定機器, 重心移動軌跡, バランス訓練法

1) 高知リハビリテーション専門職大学 リハビリテーション学部 リハビリテーション学科 理学療法学専攻
Division of Physical Therapy, Department of Rehabilitation, Faculty of Rehabilitation, Kochi Professional University of Rehabilitation

2) 岡山医療専門職大学
Okayama Healthcare Professional University

*Corresponding author : katayama@kochireha.ac.jp

Summary

We propose a novel method, requiring no expensive specialized equipment, to evaluate trunk rotation and upper limb strength. By combining a digital ratchet wrench and foot load measurement device<s>, one can simultaneously measure trunk rotation torque and center of gravity (COG) displacement in free-standing patients adopting stances typical of activities of daily living (ADL) including work environments.

Preliminary experiments measured 14.9 Nm maximum torque during trunk rotation. Future work aims to quantify the relationships between torque values, trunk rotation, and upper limb strength, to determine metrics for correlations with COG variance.

Our main goal is to elucidate the causal relationship between trunk stability and upper limb force exertion. By analyzing features of COG, we aim to determine how the trunk maintains stability during upper limb movements and evidence of the impact of trunk stability on upper limb motor performance.

The evaluation method developed in this study is expected to contribute to several fields.

Work improvement and injury prevention: By quantitatively clarifying the features of physical load associated with task performance, this research may inform safer work postures and load reduction strategies to enhance work productivity and reduce occupational injury risk.

Rehabilitation and training: To inform treatment of patients with chronic lower back pain, athletes, and general training, quantifying trunk rotation and associated upper limb strength and analyzing COG movement patterns can lead to personalized and effective intervention programs. COG trajectory data shows potential for novel rehabilitation training for patients with hemiplegia, Parkinson's disease, pusher syndrome, and unilateral spatial neglect.

Through these endeavors, this research aims to establish a robust foundation contributing to diverse fields including sports, rehabilitation, and occupational science.

Keywords: Trunk rotation movement, muscle strength measurement device, center of gravity displacement trajectory, balance training

研究の目的

上肢を用いた作業における力発揮は、体幹の安定性に大きく依存する。特に、立位で足以外の身体部位が固定物に接触しない状態での上肢作業では、股関節を含む体幹の安定が維持できる範囲の力しか発揮できない。これは、体幹が不安定な状態では、上肢で大きな力を発揮しようとするとは身体全体のバランスが崩れるためである。体幹の安定性は上肢の筋力発揮の基盤となるため、体幹が不安定な状態では上肢の本来の筋力を十分に発揮することが困難となる。例えば、腹横筋のような体幹深部筋は、上肢挙上時に上部線維が動き、胸郭を固定することで体幹の安定性を高める役割を果たすことが示されてい

る^{1,2)}。したがって、上肢の筋力評価を行う際には、体幹の安定性が適切に制御されているか、あるいは体幹の安定性自体を評価することが、上肢の力発揮能力を正確に理解する上で不可欠となる。本研究は、この体幹の安定性を測定することが、上肢の動作能力における潜在的な制限要因を特定する上で重要であるという因果関係に基づき、体幹の安定性評価に繋がる可能性を追求する。

体幹の安定性に関与する筋力の評価方法には多様なアプローチが存在する。Hand-held Dynamometer(以下、HHD)を用いた測定はその一例であり、比較的安価で持ち運びが容易であるため、臨床現場やスポーツ現場で手軽に測定を実施できる利点がある³⁾。

HHDを用いた体幹筋力測定は、経験年数に関わらず高い再現性が確認されており、測定手順も比較的簡便で、客観的な数値評価が可能である。しかし、HHDを用いた従来の評価方法の中には、特定の姿勢で体重の10%の重錘を骨盤上に負荷し、姿勢保持能力を測定する方法のように、「最大筋力発揮」よりも「筋持久力」や「安定性保持能力」に近い評価に留まるものも存在する。また、HHDは簡便であるものの、体幹回旋トルクの直接測定には適しておらず、立位での応用には、測定時の身体固定や代償動作の抑制など、さらなる工夫が求められる。

体幹回旋トルク測定 of 既存方法としては、BIODEXなどの高額な測定機器を用いる座位での測定が報告されている⁴⁾。しかし、これらは主に座位での測定であり、「立位」での「体幹回旋」に特化した、より簡便・安価かつ汎用性の高い評価方法とは言い難いのが現状である。

そこで本研究では、機械・機器・自動車などの製造業や建築・土木・エンジニアリングなどの作業現場から、一般家庭での愛車メンテナンスまで、ネジなどのトルク管理が必要なあらゆる場面で広く活用されているKTC社製デジタルラチェットレンチ（図1）に着目した。このデジタルラチェットレンチを用いて体幹の回旋運動トルクを測定することで、現在まで簡便な評価方法が確立されていない立位における体幹回旋ならびに上肢の筋力評価および訓練機器の開発に取り組んでいる。

また、立位作業における身体の支持基底面は足の位置によって規定され、作業に用いる道具は手で保持し、上肢を介して操作が行われる。この際の作業安定性には、重心が支持基底面の安定領域内に位置することが前提となる。人の立位姿勢の安定性は、

身体重心と支持基底面の関係によって大きく左右される。支持基底面とは、立っている人の足底面と、その周囲の左右の境界を結んだ面積を指す。身体重心がこの支持基底面内に位置していれば、人は倒れることなく安定した状態を保つことができる。しかし、重心が支持基底面の境界に近づくにつれて、姿勢は不安定になる。

姿勢の安定性を高めるためには、支持基底面を広げることが有効である。例えば、足を肩幅に広げたり、片足をやや前に出したりする姿勢は、支持基底面を拡大し、作業時の安定性を向上させる。立位において最も安定した姿勢は、頭と体幹の重心が一直線上にあり、重心線が下肢にまっすぐ通る状態である。そこで各条件での重心の軌跡を測定することで、目的動作を遂行するために神経系などが姿勢調節機能を活用し、支持基底面内で重心を制御したかというプロセスを検討している。以上の2つの経過を紹介する。

現在までの進捗状況

1. 測定方法の予備研究

1.1. 研究概要

対象と方法：70代、男性、右利き、1名。作業台の上に、すでにボルトがねじ込まれた厚さ1cmの板を設置した。この板に対して切断、穴あけ、研磨、組み立てなど様々な手作業や機械作業を行う際、作業の安定性と安全性を確保するために用いられているC型クランプを2つ用いて板を固定した（図2・3）。被検者の開始肢位は、両側の歩隔が10cmの立位とし、トルクレンチを右手で把持し、上肢は体幹



図1 KTC社製デジタルラチェットレンチ



図2 ボルトがねじ込まれた厚さ1cmの板

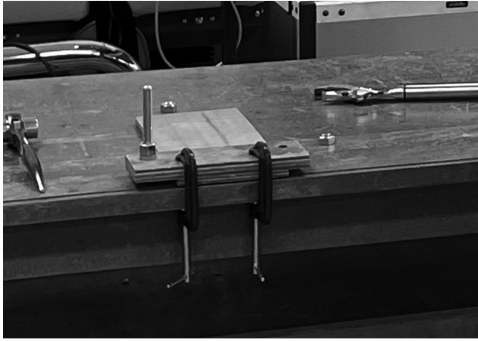


図3 C型クランプ

に固定して肘関節90°屈曲位とした。ボルトがトルクレンチの正面に来るように調整した。その後、ボルト（直径18mm；以下すべて同径を使用）を時計回りに90°の範囲で移動させる回旋運動を実施し、そのトルク値と重心の軌跡を測定した。

1. 2. 測定結果

デジタルラチェットレンチを用いてボルトの回旋力のトルク値を測定したところ、その結果は68 N・mであった。この測定結果は、体幹回旋の筋力を測定できる可能性を示唆するものである。

2. 研究1：立位でのボルトねじ込み動作時の回旋筋力と重心軌跡の測定

2. 1. 背景と目的

立位作業において、体の支持基底面は足の位置によって決定される。作業に用いる道具は手で持ち、上肢によって操作される。この時の作業の安定は、支持基底面の安定領域に重心が位置することが前提となるため、足部の重心移動を検討することは、体幹の安定性評価につながると考えられる。

そこで、立位時における右上肢でのボルトねじ込み時の筋力である回旋トルク値と重心の軌跡を測定した。

2. 2. 実験環境とプロトコール

実験環境は以下の通りである。被検者の目線の高さの位置にノートパソコンを設置し、作業台には予備研究の板セットを準備した。その作業台の前に足部荷重測定機器を設置した（図4）。被検者の開始肢位は、足部荷重測定機器上で両側の歩隔が10cmの

立位とし、トルクレンチを右手で把持し、上肢は体幹に固定して肘関節90°屈曲位とした。ボルトがトルクレンチの正面に来るように調整した。右手でボルトを時計回りに90°の範囲で移動させる回旋運動を実施し、そのトルク値と重心の軌跡を測定した。

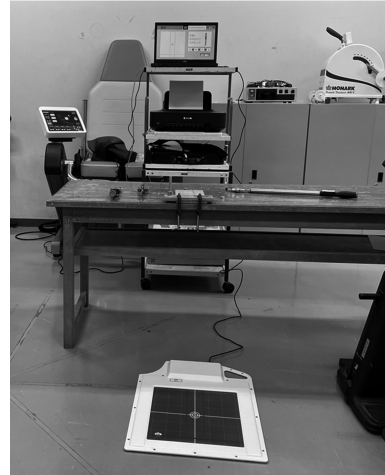


図4 足部荷重測定機器

2. 3. 結果

回旋トルク値は最大9.2 N・mであった。重心の軌跡は、中心から右方へ移動し、その後右45°後方へ移動した。続いて左45°前方へ進み、中心を過ぎると左前方45°で停止した。回旋終了時に力の発生をやめると、重心は中心へと戻った（図5）。

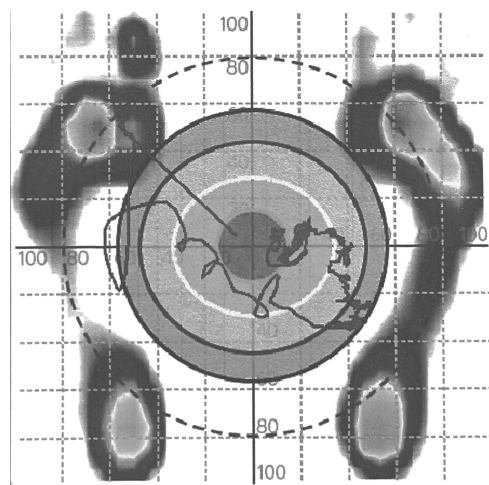


図5 右手でボルトを時計回りに90°の範囲で移動させる回旋運動時の重心軌跡

3. 研究2：立位でのボルト固定時でのねじ込み動作時の回旋筋力と重心軌跡の測定

3.1. プロトコール

体幹正面に対し150°の位置でボルト固定した。被検者は、研究1の開始肢位で立位を取り、デジタルラチェットレンチを立位時の体幹正面に対し150°の位置に固定設置し、右手でボルトを時計周りの回旋運動を行った(図6)。



図6 デジタルラチェットレンチを立位時の体幹の正面に対し150°の位置に固定設置

3.2. 結果

回旋トルク値は最大14.9 N・mであった。重心の軌跡は、中心から左右に移動し、均等に支え移動していた(図7)。

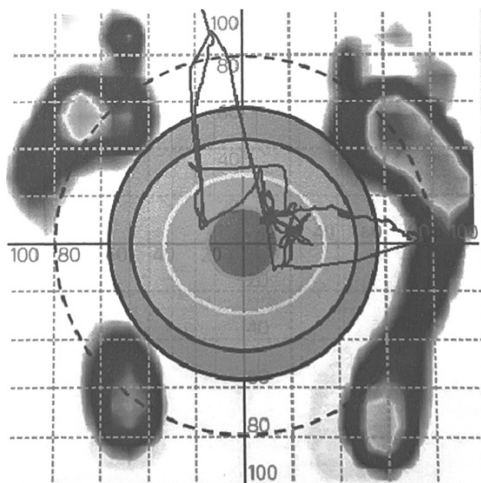


図7 立位時の体幹の正面に対し150°の位置に固定設置した時の重心軌跡

4. 研究3：体幹正面に対し各角度でボルトを固定した時の重心の軌跡

4.1. 体幹正面に対し90°の位置でボルト固定時の重心の軌跡

被検者は、研究1の開始肢位で立位を取り、デジタルラチェットレンチを立位時の体幹正面に対して90°の位置に固定設置し、右手で時計周りの回旋運動を行った(図8)。重心の軌跡は、右に移動し、その後右後方から左後方に移動した。被検者は右下肢をステップ反応で右側方に移動させたため、最後は右前方に移動していた。

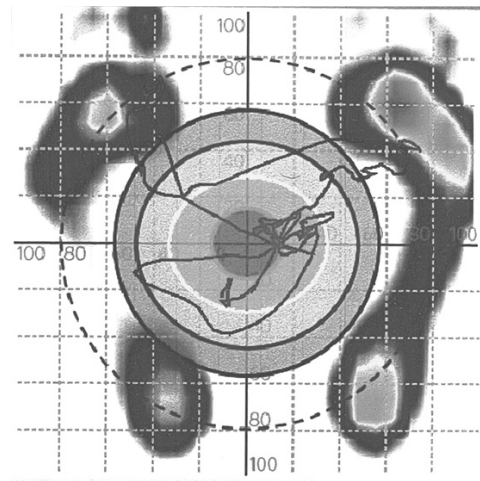


図8 体幹正面に対し90°の位置でボルト固定時の重心の軌跡

4.2. 体幹正面に対し180°の位置にボルト固定時の重心の軌跡

同様に体幹の180°位置にボルトを固定設置し、左手で反時計周りの回旋運動を行った。重心の軌跡は、中心から右やや後方側方に移動し、その後、移動した重心の軌跡を辿るかのよう中心に移動した(図9)。

4.3. 体幹正面に対し210°の位置でボルト固定時の重心の軌跡

同様に体幹の正面に対し210°の位置にボルトを固定設置し、左手で反時計周りの回旋運動を行った。重心の軌跡は、中心から右やや後方側方に移動し、その後も右やや後方内を移動した(図10)。

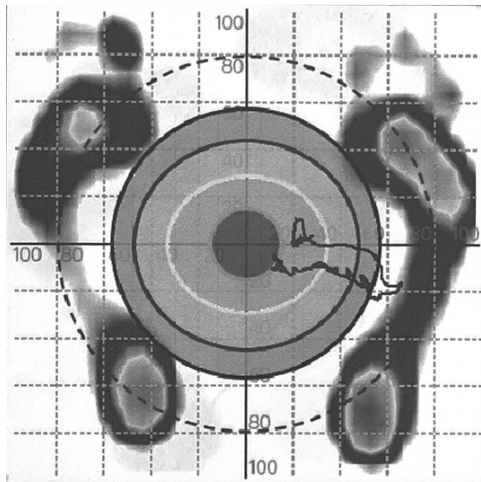


図9 体幹正面に対し180°の位置にボルト固定時の重心の軌跡

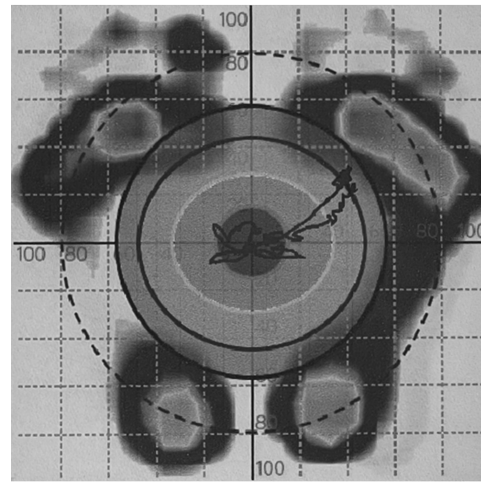


図11 両側足部を閉脚し、体幹正面に対し180°の位置でボルト固定時の重心の軌跡

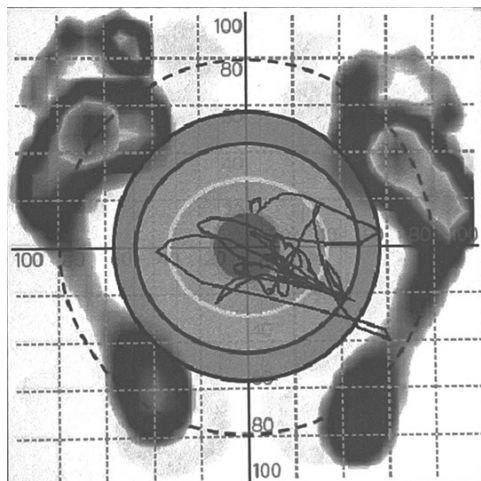


図10 体幹正面に対し210°の位置でボルト固定時の重心の軌跡

5. 研究4：立位時の足部の位置を変化させた時の重心の軌跡

5.1. 両側足部を閉脚し、体幹正面に対し180°の位置でボルト固定時の重心の軌跡

被検者は、研究1の開始肢位を取り、両側足部を閉脚し、体幹正面に対し180°の位置でボルト固定し、右手で時計周りの回旋運動を行った。この時の重心の軌跡は、右斜め45°に移動し、移動した重心の軌跡を辿るかのように中心に移動した（図11）。

5.2. 右足前のタンデム肢位での体幹正面に対し180°の位置でボルト固定時の重心の軌跡

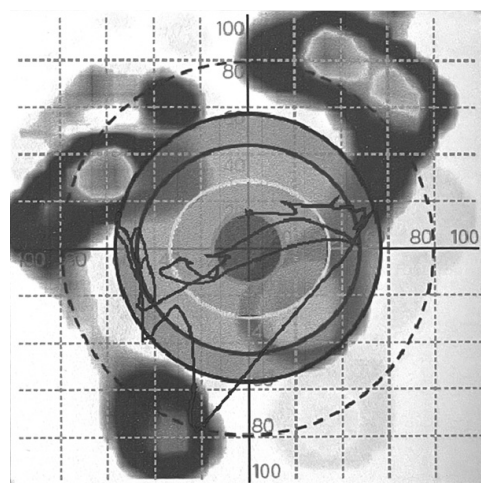


図12 右足前のタンデム肢位での体幹正面に対し180°の位置でボルト固定時の重心の軌跡

5.3. 左足前のタンデム肢位での体幹正面に対し180°の位置でボルト固定時の重心の軌跡

同様に左足前のタンデム肢位を取らせ、右手で時計周りの回旋運動を行った。この時の重心の軌跡は、右側方に移動し、移動した軌跡を辿るかのように移動した（図13）。

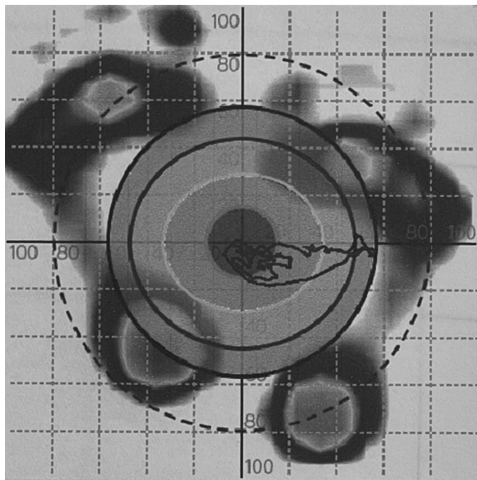


図13 左足前のタンデム肢位での体幹正面に対し180°の位置でボルト固定時の重心の軌跡

今後の展望と可能性

今回の研究では、デジタルラチェットレンチを用いた体幹回旋運動時のトルク測定において、ボルト90°の範囲では9.2 N・m、ボルト固定時150°では14.9 N・mと最高値を示した。これらのトルク値と体幹回旋および上肢筋力との定量的な関連性をさらに深く分析する必要がある。また、重心の軌跡との相関関係についても具体的な指標を設定し、その詳細な分析を進める予定である。

デジタルラチェットレンチと足部荷重測定機器の組み合わせは、高額な専用機器に頼ることなく、立位での体幹回旋トルクと重心移動を同時に評価できる点で画期的なアプローチである。これにより、これまで測定が困難であった実際のADL（日常生活動作）や作業環境に近い状況での筋力評価が可能となる。

体幹の安定性と上肢の筋力発揮における因果関係の解明は、本研究の重要な目標の一つである。重心移動の軌跡を詳細に分析することで、上肢が力を発揮する際に体幹がどのように安定性を維持しているのか、そのメカニズムをより深く理解できる可能性がある。これは、体幹の安定性が上肢の動作能力に与える影響を具体的に示すエビデンスとなることが期待される。

作業改善と傷害予防への応用も、本研究の大きな

可能性である。今回の測定方法で得られたデータは、特定の作業における身体的負荷を定量的に評価する上で有用である。これにより、作業姿勢の改善指導や、特定の作業による体幹・上肢への負担軽減策を提案し、最終的には労働災害の予防と生産性向上に貢献できる可能性がある。

リハビリテーション・トレーニング分野への応用も視野に入れている。慢性腰痛患者やアスリートのリハビリテーション、あるいは一般の方のトレーニングにおいて、体幹回旋や上肢の筋力を具体的な数値で評価し、重心移動のパターンを分析することで、より個別化された効果的な介入プログラムの立案に繋がるだろう。さらに、本手法は、トルクによる上肢の出力と重心軌跡による体幹の安定性の相関を評価し、疾患特有の運動制御障害を可視化できると考える。片麻痺の予測的姿勢調節、パーキンソン病の体幹の軸性剛性、プッシャー症候群の垂直位認知の歪み、半側空間無視の空間認知バイアスなど、単純な荷重分布では捉えきれない「動的連鎖」や「自己身体認知の変容」を定量化できる点が特徴である。これにより、感覚統合や代償戦略の分析に基づいた、高度に個別化されたリハビリ介入が可能になると思われる。

これらの課題に取り組み、本研究で得られる知見と技術を追求することで、スポーツ、リハビリテーション、作業科学など、多岐にわたる分野に貢献する強固な基盤を築くことができると考えている。

謝辞

本研究は、高知リハビリテーション専門職大学「共同研究助成金」より助成を頂き遂行することができました。感謝申し上げます。

文献

- 1) 大久保雄: 体幹筋機能のエビデンスとアスレティックトレーニング. 日本アスレティックトレーニング学会誌 5(1): 3-11, 2019.
- 2) Hodges PW, Richardson CA: Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the

lower limb. *Phys Ther* 77(2): 132-142, 1997.

- 3) Althobaiti S, Falla D: Reliability and criterion validity of handheld dynamometry for measuring trunk muscle strength in people with and without chronic non-specific low back pain. *Musculoskelet*

Sci Pract 66: 102799, 2023.

- 4) Lindsay DM, Horton JF: Trunk rotation strength and endurance in healthy normals and elite male golfers with and without low back pain. *N Am J Sports Phys Ther* 1(2): 80-89, 2006.