

令和5年度 Sport in Life 推進プロジェクト

「コンディショニングに関する研究（スポーツの価値を高めるための運動・スポーツが身体に与える影響に関する新たな研究促進と医学的知見の集積に向けた調査研究）」

成果報告書

令和6年3月

学校法人早稲田大学

本報告書は、スポーツ庁の委託事業として、学校法人早稲田大学 理事長・田中愛治が実施した令和5年度 Sport in Life 推進プロジェクト「コンディショニングに関する研究（スポーツの価値を高めるための運動・スポーツが身体に与える影響に関する新たな研究促進と医学的知見の集積に向けた調査研究）」の成果を取りまとめたものです。従って、本報告書の複製、転載、引用等にはスポーツ庁の承認手続きが必要です。

成果報告書

金岡 恒治¹, 小田 竜也², 押川 智貴³, 森戸 剛史¹

1 早稲田大学スポーツ科学学術院, 2 筑波大学消化器外科, 3 東京経済大学全学共通教育センター

課題名：身体挙動による胸腹部内臓器の挙動と健康状態との関連

1.背景

運動実施は循環器系・呼吸器系・運動器系の各器官の機能向上をもたらし、健康増進に寄与することのエビデンスは構築され、国民の健康増進のみならずライフパフォーマンス向上や健康寿命延長のためにより広い普及が求められている。しかし、運動やスポーツは自分から自発的・能動的に身体を動かすことが大前提として必要であり、漠然とした“より健康になるため”という動機で身体を自ら動かす国民は限られており、スポーツ実施率の向上は頭打ちしている現状である。運動・スポーツ実施の普及のためには、運動が身体に与える新たな好影響を明らかにしていくことが求められる。

我々は体幹の深部筋群（インナーマッスル）の機能をこれまで研究しており、この筋群を賦活化することで、腰痛の予防・改善（Ota, et al., 2011）や競技パフォーマンスの向上（Imai, et al., 2015）、転倒防止のためのバランス能力向上（Imai, et al., 2014）などのポジティブな知見を得てきたが、同時に“便秘が改善した”という副次的な効果も耳にし、その解説を求められるも回答することができずにいた。運動実施によって代謝系・副交感神経系が関与して消化器系臓器の機能が高まることも推察されるが、運動実施によって消化器系臓器へ物理的な刺激が加わって機能改善することも考えられる。運動実施によって消化器系臓器の機能が高まり、例えば長年悩まされてきた便秘が改善されるような新たな好影響が明らかにされれば、運動する動機を持つ者が増えることでスポーツ実施率も高まり、運動による多くのポジティブな影響によって国民がより健康的になると考える。

しかしながら、運動・スポーツ実施時に消化器系臓器へどの程度の物理的的刺激が加わるのか、また消化器系臓器にどの程度の位置変化が起こるのかは明らかにされていない。胸腹部内臓器は結合組織で腹腔内壁に接合しているが、その結合は緩く、ある程度の可動性を有すると考えられ、運動によって物理的に移動することが予測される。消化器系臓器が物理的に移動するのであれば、移動することが消化器系臓器に何らかのポジティブな影響を与えることが推察され、新たな視点での運動・スポーツ実施に関する研究に繋がる可能性も考えられる。そこで、消化器系臓器の物理的移動の大きさと、便秘状態をはじめとした健康状態や身体機能の関係性に着目し、“消化器系臓器を物理的に大きく移動できる人は、便秘状態をはじめとした健康状態が良く、さらに身体機能が高い”という仮説を設定した。

本研究は、消化器系臓器の位置を非侵襲的に観察可能な磁気共鳴画像（MRI）装置を用いて、MRI装置内で実施可能な運動である仰臥位での「最大呼吸および腹部の最大収縮/膨張運動」や「腹筋群を動員する足挙げ運動」時における消化器系臓器の物理的移動の大きさを定量化する。そして、消化器系臓器の物理的移動の大きさが健康状態や身体機能へ与える影響を明らかにすることを目的とした。

2.方法

2-1.対象者

対象者はMRI撮影が可能な20～72歳の男女45名(平均±標準偏差:年齢46±16歳、身長166.1±7.8cm、年齢64.5±12.0kg)とした。年齢および性別の内訳は、表1の通りである。本研究は、早稲田大学倫理審査委員会による「人を対象とする研究に関する倫理審査」の承認を得て実施した(承認番号:2022-464)。対象者には事前に研究の目的・方法・起こり得るリスクを説明し、書面による同意を得た後、研究を実施した。

表1. 対象者の年齢および性別の内訳

(人)	男性	女性	総計
20～39歳	7	9	16
40～59歳	10	5	15
60～72歳	9	5	14
総計	26	19	45

2-2.実験プロトコル

対象者は、MRI撮影・アンケート・身体的特徴および身体機能の計測を実施するメイン計測へ参加し、また、メイン計測日および前後7日間の合計15日間における自身の便通をイーベンノート(LINEアプリ、EAファーマ社)を用いて記録した。メイン計測では身長計および体組成計(BC-314、タニタ社)を用いて身長・体重・Body Mass Index(BMI)・筋肉量・体脂肪率の計測後、消化器系臓器(肝臓および胃)のMRI撮影・健康状態に関するアンケート・身体的特徴および身体機能の計測を実施した。

肝臓および胃のMRI撮影

肝臓および胃のMRI撮影について、胃を飲食物で膨らませて鮮明に写すために、対象者は撮影前にコンビニエンスストアの冷製うどん(冷したぬきうどん、セブンイレブン社)と水400～500mlを摂取した。その後、3テスラMRI装置(SIGNA Premier、GE社製)内で両上肢を挙上した仰臥位にて、a.最大限に息を吸って、最大限に腹部を膨らませて息を止めた「吸気・膨張」、b.最大限に息を吐いて、最大限に腹部を凹ませて息を止めた「呼気・収縮」、c.最大限に息を吸って、最大限に腹部を凹ませて息を止めた「吸気・収縮」、d.最大限に息を吐いて、最大限に腹部を膨らませて息を止めた「呼気・膨張」、e.いつも通り息を吸って、軽く吐いて止めた「安静」、f.いつも通り息を吸って、軽く吐いて止めてから、腹筋群が動員されるように両下肢を伸展した状態で大腿後面が浮くように軽度挙上させた「足挙げ」の計6条件における肝臓・胃の位置を撮影した。6条件はランダムな順で、肝臓・胃において各1回撮影した。肝臓の撮影はT1強調像をベースとしたLiver Acquisition with Volume Acceleration(LAVA)法を用い、Repetition timeは4ms、Echo timeは1.7ms、Matrixは320×256、Number of excitationsは0.7、Field of viewは50×40、Slice thicknessは2mm、撮影時間は最大25秒の設定で、肝臓の全てが写るように前額断像を100～120枚取得した。胃の撮影はT2強調像の1つであるSingle Shot Fast Spin

Echo (SSFSE) 法を用い、Repetition time は 529ms、Echo time は 81ms、Matrix は 384 × 256、Number of excitations は 0.7、Field of view は 50×40、Slice thickness は 5mm、撮影時間は最大 25 秒の設定で、胃の全てが写るように前額断像を 40～50 枚取得した。

健康状態に関するアンケート

健康状態に関するアンケートでは、過去 1 カ月の身体活動の回答より 1 日あたりの身体活動量をスコア化する Japan Public Health Center-based prospective Study の「身体活動量アンケート」(Kikuchi, et al., 2020)、腰痛症状および腰痛による機能障害度をスコア化する「Numeric Rating Scale (NRS)」・「Roland Morris disability questionnaire (RMDQ)」(Roland, et al., 2000) ・「Oswestry Disability Index (ODI)」(Roland, et al., 2000)、健康状態の Quality of Life (QOL) をスコア化する「36-Item Short-Form Health Survey (SF-36)」(Qualitest 社、Fukuhara, et al., 1998) ・「EuroQol 5 dimensions 5-level (EQ-5D-5L)」(EuroQol Group 社、Shiroiwa, et al., 2016)、過去 2 週間の便秘症状をスコア化する「The Patient Assessment of Constipation Quality of Life (PAC-QOL)」(Marquis, et al., 2005)、運動器の移動機能低下であるロコモティブシンドロームに関する身体状態や生活状況をスコア化する「ロコモ 25」(日本整形外科学会) を回答した。

身体的特徴および身体機能の計測

身体的特徴の計測では、巻き尺を用いて左右下肢長として大転子から外果までの長さを計測した。また、仰臥位にて MRI 撮影の a「吸気・膨張」および b「呼気・収縮」を同様に各 2 回実施し、その際の臍高位の周径囲を計測した。身体機能の計測では、各課題試技の実施可否によって筋協調性を計測する「Motor Control (MC)」(図 1) ・特別な道具を用いずに身体部位別の可動域や筋力を計測する「KOJI AWARENESS (KA)」(Murofushi, et al., 2022a; 2022b) ・ロコモティブシンドロームに関する運動機能を計測する「立ち上がりテスト」と「2 ステップテスト」(日本整形外科学会) を実施した。「2 ステップテスト」のみ、日本整形外科学会の方法に従って 2 回実施した。

<p>Front bridge 「肩の下に手、股関節の下に膝を置き、両手と両膝を床について、頭とお尻が一直線になる様に四つ這いになり、骨盤がぶれない様に片脚を床と水平になるまで上げる。」(両側評価)</p> <p>0: 正しく四つ這い姿勢が取れない 1: 下肢挙上不可 2: 骨盤がぶれる 3: 3 秒間、骨盤がぶれない</p> 	<p>back bridge 「1. 仰向けに寝て、体の横に手を置き、膝を立てる。膝は腰幅に開き、踵は膝の下に置き、お尻を上げて肩から膝を一直線にする。」2 および 3. 1 の状態から膝の位置を変えずに片脚を伸ばす。」(両側評価)</p> <p>0: 肩から膝が一直線にできない 1: 3 秒間、肩から膝が一直線にできる 2: 片脚を上げられるが、骨盤がぶれる 3: 3 秒間、骨盤がぶれずに片脚を上げられる</p> 
<p>左右各3点満点</p>	<p>左右各3点満点</p>
<p>Side bridge 「1. 横向きに寝て、上の手は腰に当て、肩の下に肘をつき、膝をついて、頭と膝が一直線になる様に腰を浮かす。」2. 一度腰を下ろして、膝を伸ばして足をそろえて腰を浮かす。」3. 2 の状態から、上の脚を床と水平になるまで上げる。」4. 3 の状態から、下の脚を床と水平になるまで上げる。」(両側評価)</p> <p>0: 前から見て頭と膝が一直線にできない 1: 3 秒間、頭と膝が一直線にできる (前から見ても上から見ても一直線) 2: 3 秒間、頭と足が一直線にできる 3: 3 秒間、頭と足が一直線にできて、上の脚を床と水平になるまで上げられる 4: 3 秒間、頭と足が一直線にできて、下の脚を床と水平になるまで上げられる</p> 	<p>片脚立位 「1 および 2. 手を腰にあて、片脚で立つ。背すじを伸ばして股関節と膝関節が屈曲 90 度になるように膝を上げる。」3. 一度脚を下ろして、両手を横に広げ、背すじを伸ばして上体を前へ 45 度傾けながら、片脚を後ろへ 45 度上げる。」4 もしくは 5. 一度脚を下ろして、両手を横に広げ、背すじを伸ばして上体を後ろへ 30 度傾けながら、片脚を前へ 30 度上げる。」4 もしくは 5. 一度脚を下ろして、両手を横に広げ、背すじを伸ばして上体を横へ 30 度傾けながら、傾けていない側の片脚を前へ 30 度上げる。」(両側評価)</p> <p>0: 片脚立位ができない、もしくはぐらついて不安定 1: 10 秒間、片脚立位で安定する 2: 10 秒間、片脚立位で背すじが伸びて、股関節・膝関節 90 度で安定する 3: 3 秒間、両手を横に広げ、背すじを伸ばして上体を前へ 45 度傾けながら、片脚を後ろへ 45 度上げられる 4 もしくは 5: 3 秒間、両手を横に広げ、背すじを伸ばして上体を後ろへ 30 度傾けながら、片脚を前へ 30 度上げられる 4 もしくは 5: 3 秒間、両手を横に広げ、背すじを伸ばして上体を横へ 30 度傾けながら、傾けていない側の片脚を横へ 30 度上げられる ※「4 もしくは 5」は、どちらかのみできた場合は 4 点、両方できた場合は 5 点</p> 
<p>左右各4点満点</p>	<p>左右各5点満点</p>

図 1. Motor Control (MC) の各課題試技における指示および評価基準

便通記録

メイン計測日および前後 7 日間の合計 15 日間において、対象者は自身の便通における「お通じの感じ」と「スッキリ感」についてイーベンノートを用いて記録した。「お通じの感じ」は便の硬さや柔らかさに関して、「コロコロ」・「硬いかたまり」・「やや硬い」・「ふつう」・「やわらかい」・「どろどろ」・「水のように」の選択肢から回答した。「スッキリ感」は便通の快適さに関して、「スッキリ」・「そこそこ」・「いまいち」・「肛門が痛かった」の選択肢から回答した。各日最大 3 回までの便通について記録し、便通がなかった日は「出なかった」と記録した。

2-3.データ解析

肝臓および胃の移動距離

肝臓および胃の MRI について、肝臓の右葉最頂部・右葉最下端および胃の胃底部最頂部・大弯最下端（図 2）の位置座標を、MRI 装置内の解析ソフトウェアを用いて 1 名の検者が各 3 回計測した。肝臓の右葉最頂部・右葉最下端は解析ソフトウェアの **Reformat** 機能を用いて、前額断像から作成された矢状断像も確認しながら計測した。3 回の計測に関する検者内信頼性として級内相関係数 ($ICC_{(1,1)}$) を算出し、 $ICC_{(1,1)}$ は 0.998 以上を示した。計測した 3 回の位置座標の平均値を代表値として、①a「吸気・膨張」を基準とした b「呼気・収縮」(b-a)・②e「安静」を基準とした f「足挙げ」(f-e)・③e「安静」を基準とした a「吸気・膨張」(a-e)・④e「安静」を基準とした c「吸気・収縮」(c-e)・⑤e「安静」を基準とした d「呼気・膨張」(d-e)・⑥e「安静」を基準とした b「呼気・収縮」(b-e) における肝臓および胃の各部位の移動距離を左右・前後（腹側もしくは背側）・上下（頭側もしくは尾側）の各方向で算出し、各方向への移動距離から 3 次元の移動距離を算出した。

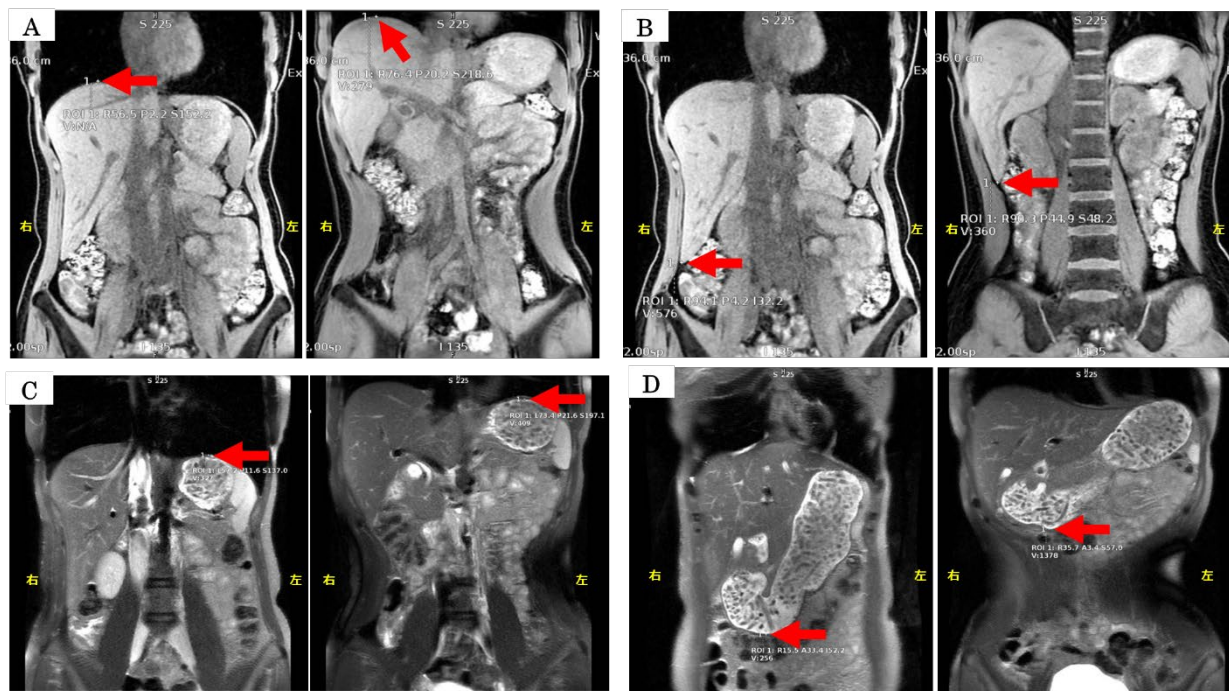


図 2. 肝臓および胃の前額断 MRI

各画像内の矢印が対象部位を示し、A は肝臓の右葉最頂部・ B は肝臓の右葉最下端・

C は胃の胃底部最頂部・ D は胃の大弯最下端。

A~D それぞれにおいて、左が a 「吸気・膨張」 および右が b 「呼気・収縮」。

アンケートによる健康状態の評価

身体活動量アンケートより、「1 日あたりの身体活動量」および「3METs 以上の身体活動に関する 1 日あたりの身体活動量」を算出した。腰痛症状に関する「NRS」は 0~10 で示し、腰痛による機能障害に関する「RMDQ」および「ODI」はそれぞれ 24 点満点と 45 点満点を 100%換算値で示した。なお、ODI は本来 50 点満点であるが、45 名中 7 名が「性生活に関する設問」を未回答であったため、この設問の 5 点分を全対象者から除外した。健康状態の QOL に関する「SF-36」は、「身体機能」・「日常役割機能 (身体)」・「体の痛み」・「全体的健康感」・「活力」・「社会生活機能」・「日常役割機能 (精神)」・「心の健康」の各尺度を 100%換算値で示した。また、「EQ-5D-5L」は 20 点満点を 100%換算値で示した。便秘症状に関する「PAC-QOL」は本来 112 点満点であるが、全 45 名の対象者が「便秘の治療に関する設問」を未回答であったため、この設問の 4 点分を全対象者から除外し、108 点満点を 100%換算値で示した。ロコモティブシンドロームに関する身体状態や生活状況を表す「ロコモ 25」は 100 点満点を 100%換算値で示した。

身体的特徴および身体機能の評価

a 「吸気・膨張」 および b 「呼気・収縮」 実施時の膈高位の周径囲について、2 回の実施に関する対象者内信頼性として級内相関係数 (ICC_(1,1)) を算出し、ICC_(1,1) は 0.999 以上を示した。計測した 2 回の周径囲の平均値を対象者の代表値として、a 「吸気・膨張」と b 「呼気・収縮」の膈高位周径囲変化量を算出した。各課題試技における筋協調性に関する MC は図 1 の通り、各試技の左右の得点を合計し、30 点

満点で示した。部位別の可動域や筋力に関する KA は、先行研究 (Murofushi, et al., 2022a; 2022b) と同様に 50 点満点で示した。ロコモティブシンドロームに関する運動機能評価の立ち上がりテストについて、高さ 40・30・20・10cm の椅子から両脚で立ち上がった場合は両脚へ 1~4 点とし、片脚で立ち上がった場合は左右それぞれへ 5~8 点とした。なお、8 点である 10cm の椅子から片脚で立ち上がった対象者は、床に座って片脚で立ち上がる試技を実施し、立ち上がった場合は 9 点とし、左右の平均値を代表値とした。2 ステップテストについて、2 回実施の最高値を対象者の代表値とし、各対象者の身長および左右平均下肢長で除し、「身長標準 2 ステップ値」および「下肢長標準 2 ステップ値」を算出した。

便通記録の評価

「お通じの感じ」について、「ふつう」を 3 点・「やや硬い」と「やわらかい」を 2 点・「硬いかたまり」と「どろどろ」を 1 点・「コロコロ」と「水のように」を 0 点とスコア化した。「スッキリ感」について、「スッキリ」を 3 点・「そこそこ」を 2 点・「いまいち」と「肛門が痛かった」を 1 点とスコア化した。各便通は「お通じの感じ」と「スッキリ感」の合計スコアの 1~6 点で表し、各日における最高点を算出した。なお、便通がなかった日は 0 点とした。その後、「全 15 日間の合計スコア」(6 点×15 日の 90 点満点) の 100%換算値・「メイン計測日前後各 7 日間の合計スコア」(6 点×各 7 日の 42 点満点) の 100%換算値・全 15 日間およびメイン計測日前後各 7 日間のうち何日に便通があったかを表す「便通率」を算出した。

2-4.統計解析

統計解析は、SPSS Statistics 29.0 (IBM 社製) を用いた。対象者の特性・身体的特徴・肝臓もしくは胃の移動距離が健康状態や身体機能へ与える影響を明らかにするために、各種の健康状態 (1 日あたりの身体活動量・3METs 以上の 1 日あたりの身体活動量・腰痛 NRS・RMDQ・ODI・SF-36 の 8 尺度・EQ-5D-5L・PAC-QOL・便通記録によるスコア 3 項目および便通率 3 項目・ロコモ 25) や身体機能 (MC・KA・立ち上がりテスト・2 ステップ値の 2 項目) を従属変数 (27 種類) とし、年齢・性別・BMI・体重あたりの筋肉量 (筋肉率)・体脂肪率・仰臥位での a「吸気・膨張」と b「呼気・収縮」時の膈高位周径囲変化量・肝臓もしくは胃の各部位の 3 次元の移動距離 (4 カ所×①~⑥の 6 種類) を独立変数として重回帰分析を実施した。独立変数について、年齢および性別は対象者によって変更することのできない不変要因として強制投入法とし、他の独立変数はステップワイズ法として、階層的に重回帰分析を実施した。なお、筋肉率と体脂肪率に有意な負の強い相関関係を認めたため、体脂肪率を独立変数から除外した。重回帰分析の結果、予測精度が高いとされる 0.5 よりも調整済み R² 値が大きい、かつモデルの有意確率 (p) が 0.05 未満の場合、従属変数を予測できる有意なモデルとした。

3.結果

各項目の結果を平均±標準偏差で示す。対象者の BMI は 23.2±3.2kg/m²、筋肉率は 73.0±6.4%、体脂肪率は 22.8±6.7%、仰臥位での a「吸気・膨張」と b「呼気・収縮」時の膈高位周径囲変化量は 6.9±1.8cm であった。肝臓の右葉最頂部・右葉最下端および胃の胃底部最頂部・大弯最下端の移動距離を図 3~6 へ

示す。いずれの部位も①a「吸気・膨張」を基準としたb「呼気・収縮」において3次元の最大移動距離を示し、肝臓の右葉最頂部は $6.7\pm 1.5\text{cm}$ 、肝臓の右葉最下端は $7.7\pm 2.2\text{cm}$ 、胃の胃底部最頂部は $6.7\pm 1.4\text{cm}$ 、胃の大弯最下端は $9.0\pm 2.3\text{cm}$ 移動した。

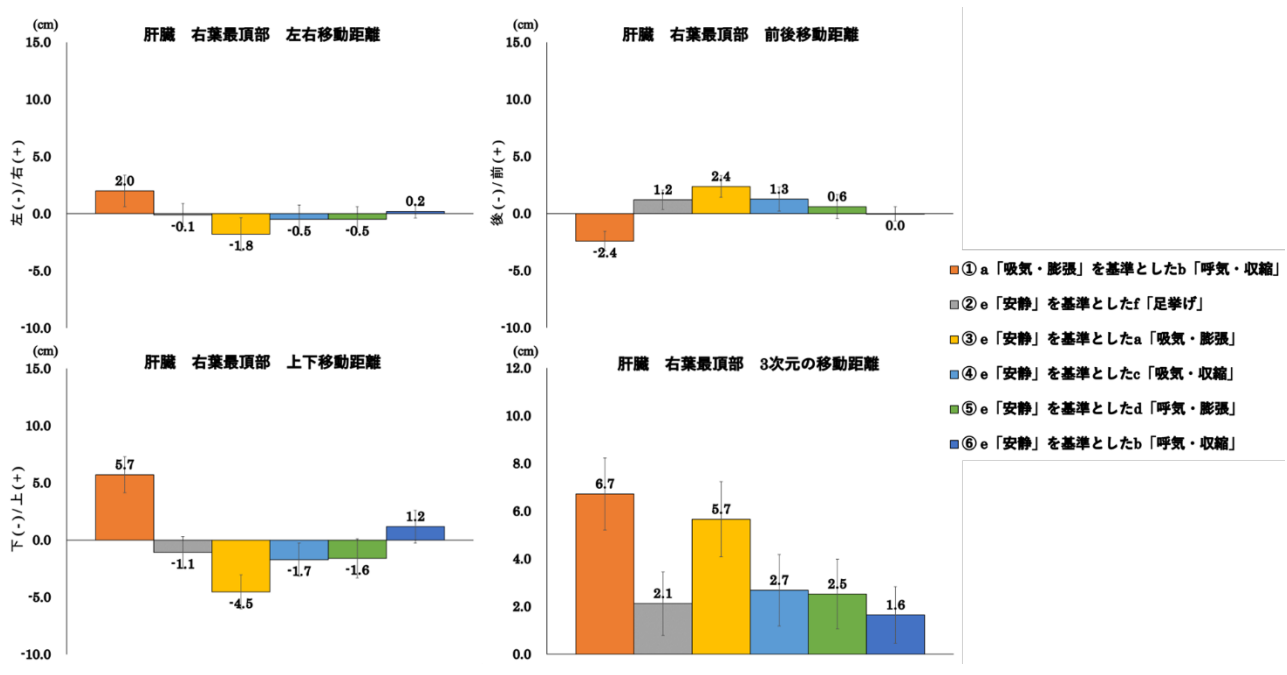


図 3. 肝臓の右葉最頂部の移動距離

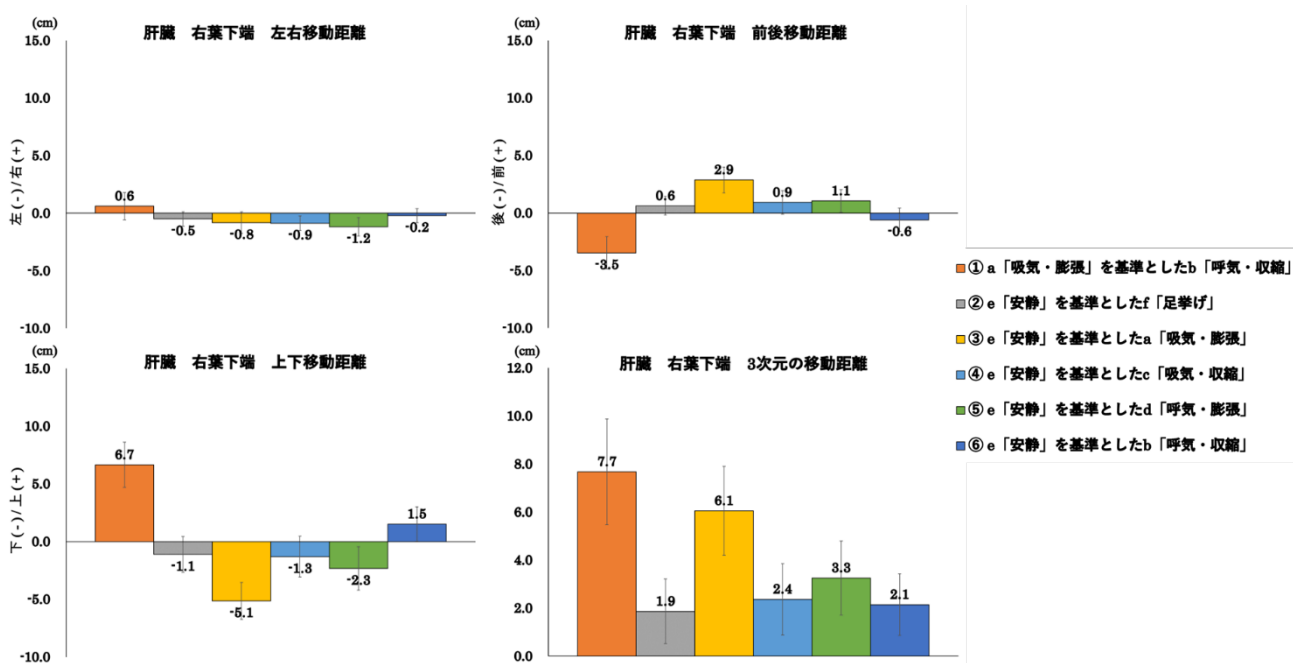


図 4. 肝臓の右葉下端の移動距離

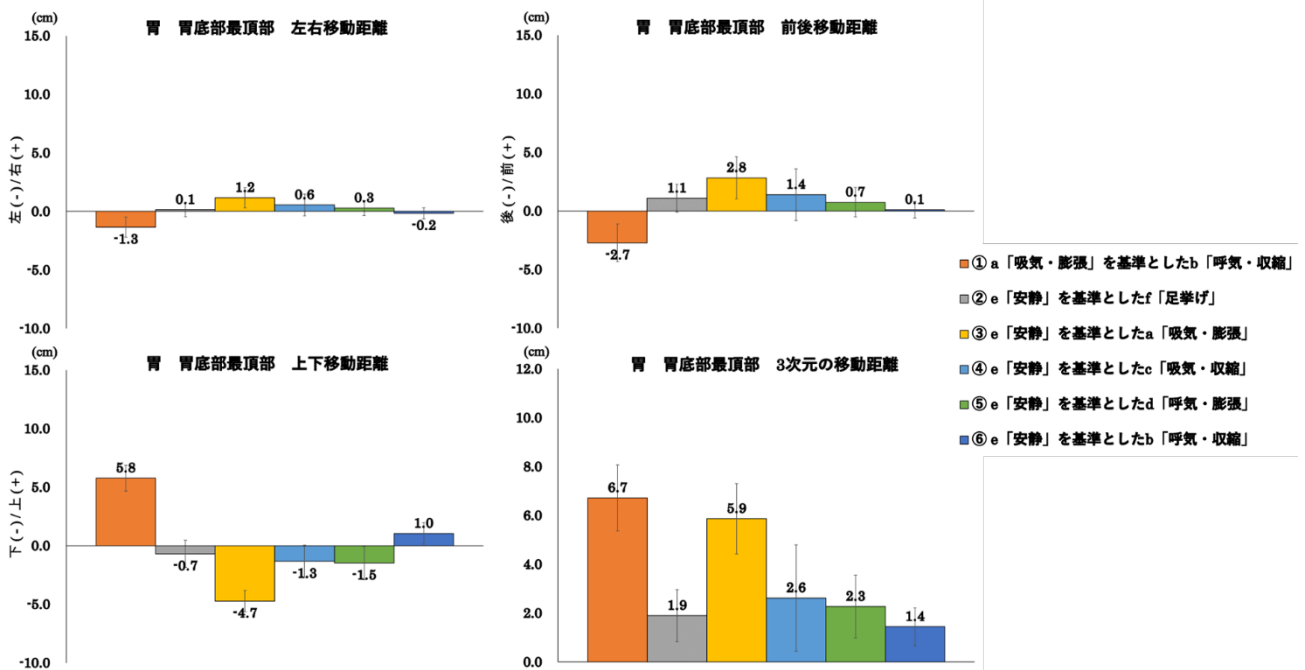


図 5. 胃の胃底部最頂部の移動距離

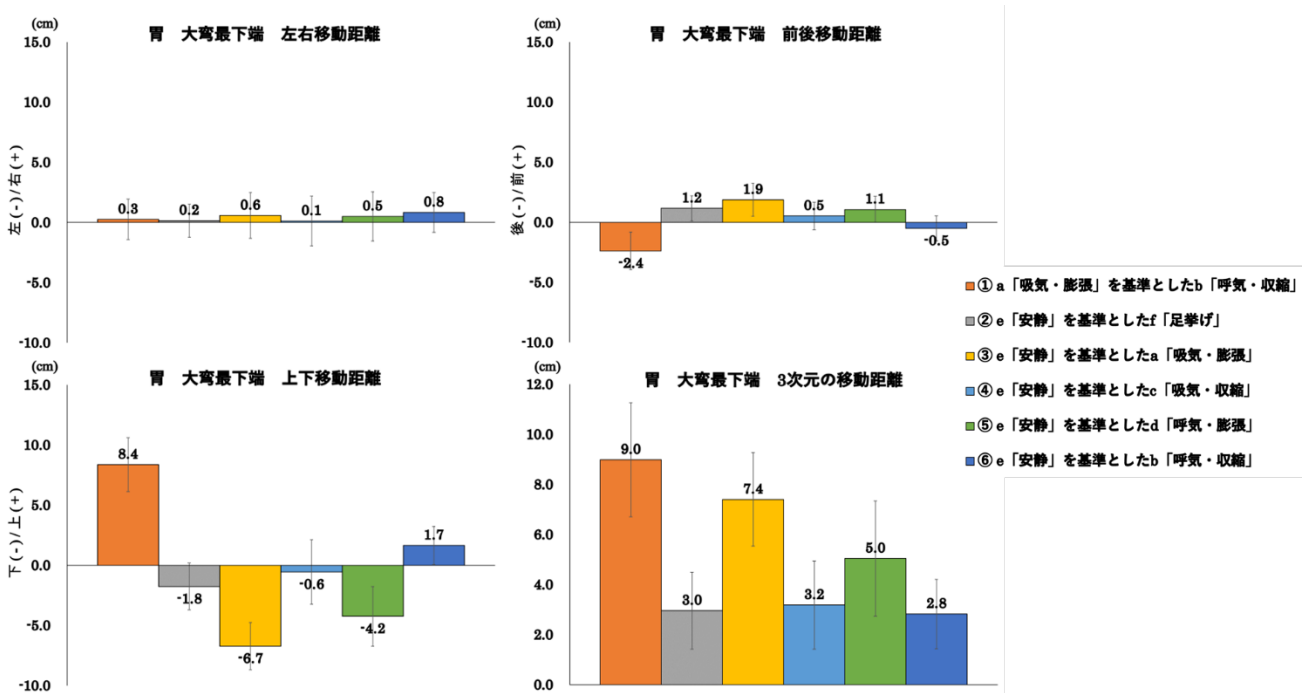


図 6. 胃の大弯最下端の移動距離

健康状態に関するアンケートについて、身体活動量アンケートは数値が高いほど身体活動量が多いことを表し、1日あたりの身体活動量は $38.7 \pm 5.8 \text{ METs} \cdot \text{時}$ 、3METs 以上の身体活動に関する1日あたりの身体活動量は $11.8 \pm 6.4 \text{ METs} \cdot \text{時}$ であった。腰痛に関する NRS、または RMDQ と ODI は数値が高いほど腰痛症状が強い、または腰痛による機能障害度が高いことを表し、NRS は 0.8 ± 1.3 、RMDQ は

2.7±9.1%、ODIは4.2±6.1%であった。SF-36は数値が高いほど各尺度に関する健康状態のQOLが高いことを表し、身体機能は98.8±3.4%、日常役割機能（身体）は98.5±4.6%、体の痛みは85.8±16.7%、全体的健康感76.0±16.1%、活力は74.3±16.5%、社会生活機能は96.7±6.7%、日常役割機能（精神）は97.0±9.1%、心の健康は84.4±12.5%であった。EQ-5D-5Lは数値が低いほど健康状態のQOLが高いことを表し、4.1±4.3%であった。PAC-QOLは数値が低いほど便秘症状に関連したQOLが高いことを表し、8.5±7.7%であった。ロコモ25は数値が高いほどロコモ度が高いことを表し、2.3±2.8%であった。

身体機能について、MCは数値が高いほど筋協調性に関するMC機能が高いことを表し、30点満点中25.7±4.4点であった。KAは数値が高いほど部位別の可動域や筋力が高いことを表し、50点満点中38.7±7.4点であった。立ち上がりテストは数値が高いほど下肢筋力や立ち上がり機能が高いことを表し、9点満点中6.5±1.8点であった。2ステップテストは数値が高いほど歩行機能が高いことを表し、身長標準2ステップ値は1.5±0.1、下肢長標準2ステップ値は3.2±0.2であった。

便通記録の評価について、数値が高いほど便通状態が良いことを表し、全15日間の合計スコアは80.0±13.7%、メイン計測日前後各7日間の合計スコアは計測日前78.3±15.9%と計測日後82.1±15.7%、全15日間の便通率は92.7±9.3%、メイン計測日前後各7日間の便通率は計測日前92.4±11.6%と計測日後93.3±12.4%であった。

階層的重回帰分析の結果、KAおよび立ち上がりテストを従属変数とした場合において、調整済みR²値>0.5かつp<0.05を満たした有意なモデルを認めたが、その他の従属変数に関しては有意なモデルを認めなかった。KAが従属変数の場合、強制投入法の独立変数である年齢と性別に加えて、BMIが有意な変数としてモデルへ含まれた（調整済みR²値=0.554、p<0.001、重回帰式：KA=75.28+(-0.25×年齢)+(2.14×性別)+(-1.13×BMI)、表2）。また、肝臓もしくは胃の各部位の3次元の移動距離の独立変数を②e「安静」を基準としたf「足挙げ」における肝臓の右葉最頂部（調整済みR²値=0.592、p<0.001、重回帰式：KA=76.39+(-0.25×年齢)+(2.36×性別)+(-1.07×BMI)+(-1.20×肝臓の移動距離)、表3）・③e「安静」を基準としたa「吸気・膨張」における肝臓の右葉下端（調整済みR²値=0.588、p<0.001、重回帰式：KA=71.23+(-0.25×年齢)+(2.50×性別)+(-1.18×BMI)+(0.81×肝臓の移動距離)、表4）および胃の胃底部最頂部（調整済みR²値=0.596、p<0.001、重回帰式：KA=72.48+(-0.26×年齢)+(1.98×性別)+(-1.28×BMI)+(1.22×胃の移動距離)、表5）・①a「吸気・膨張」を基準としたb「呼気・収縮」における胃の胃底部最頂部（調整済みR²値=0.595、p<0.001、重回帰式：KA=71.99+(-0.28×年齢)+(1.85×性別)+(-1.32×BMI)+(1.37×胃の移動距離)、表6）とした場合において、肝臓もしくは胃の各部位の3次元の移動距離も有意な変数としてモデルへ含まれた。

表 2. KOJI AWARENESS (KA) を従属変数とした重回帰分析
 独立変数は強制投入法の年齢・性別、ステップワイズ法の BMI・筋肉率・
 仰臥位の臍周径囲変化量・肝臓もしくは胃の 3 次元の移動距離で、
 表に無記載の独立変数はステップワイズ法により除外。

独立変数	非標準化係数B	標準化係数B	有意確率	Bの95.0%信頼区間		VIF 分散インフレ要因
				下限	上限	
定数	75.28		0.000	63.01	87.55	
年齢	-0.25	-0.54	0.000	-0.35	-0.15	1.07
性別	2.14	0.14	0.235	-1.44	5.71	1.40
BMI	-1.13	-0.48	0.000	-1.70	-0.55	1.46

表 3. KA を従属変数とした重回帰分析
 独立変数は強制投入法の年齢・性別、ステップワイズ法の BMI・筋肉率・
 仰臥位の臍周径囲変化量・②e「安静」を基準とした f「足挙げ」における肝臓の右葉最頂部の
 3 次元の移動距離で、表に無記載の独立変数はステップワイズ法により除外。

独立変数	非標準化係数B	標準化係数B	有意確率	Bの95.0%信頼区間		VIF 分散インフレ要因
				下限	上限	
定数	76.39		0.000	64.59	88.18	
年齢	-0.25	-0.54	0.000	-0.34	-0.16	1.07
性別	2.36	0.16	0.171	-1.07	5.80	1.40
BMI	-1.07	-0.46	0.000	-1.62	-0.52	1.48
肝臓 右葉最頂部 3次元の移動距離 安静基準の足挙げ	-1.20	-0.21	0.034	-2.30	-0.09	1.03

表 4. KA を従属変数とした重回帰分析

独立変数は強制投入法の年齢・性別、ステップワイズ法の BMI・筋肉率・仰臥位の臍周径囲変化量・③e「安静」を基準とした a「吸気・膨張」における肝臓の右葉下端の 3次元の移動距離で、表に無記載の独立変数はステップワイズ法により除外。

独立変数	非標準化係数B	標準化係数B	有意確率	Bの95.0%信頼区間		VIF 分散インフレ要因
				下限	上限	
調整済みR ² 値=0.588、p<0.001						
定数	71.23		0.000	58.77	83.68	
年齢	-0.25	-0.53	0.000	-0.34	-0.15	1.08
性別	2.50	0.17	0.152	-0.96	5.96	1.41
BMI	-1.18	-0.51	0.000	-1.74	-0.63	1.48
肝臓 右葉下端 3次元の移動距離 安静基準の吸気・膨張	0.81	0.20	0.044	0.02	1.61	1.02

表 5. KA を従属変数とした重回帰分析

独立変数は強制投入法の年齢・性別、ステップワイズ法の BMI・筋肉率・仰臥位の臍周径囲変化量・③e「安静」を基準とした a「吸気・膨張」における胃の胃底部最頂部の 3次元の移動距離で、表に無記載の独立変数はステップワイズ法により除外。

独立変数	非標準化係数B	標準化係数B	有意確率	Bの95.0%信頼区間		VIF 分散インフレ要因
				下限	上限	
調整済みR ² 値=0.596、p<0.001						
定数	72.48		0.000	60.53	84.43	
年齢	-0.26	-0.57	0.000	-0.36	-0.17	1.09
性別	1.98	0.13	0.249	-1.44	5.39	1.40
BMI	-1.28	-0.55	0.000	-1.85	-0.72	1.56
胃 胃底部最頂部 3次元の移動距離 安静基準の吸気・膨張	1.22	0.24	0.027	0.14	2.30	1.15

表 6 .KA を従属変数とした重回帰分析

独立変数は強制投入法の年齢・性別、ステップワイズ法の BMI・筋肉率・仰臥位の臍周径変化量・①a「吸気・膨張」を基準とした b「呼気・収縮」における胃の胃底部最頂部の 3 次元の移動距離で、表に無記載の独立変数はステップワイズ法により除外。

独立変数	非標準化係数B	標準化係数B	有意確率	Bの95.0%信頼区間		VIF 分散インフレ要因
				下限	上限	
調整済みR ² 値=0.595、p<0.001						
定数	71.99		0.000	59.91	84.07	
年齢	-0.28	-0.60	0.000	-0.38	-0.18	1.16
性別	1.85	0.12	0.283	-1.58	5.27	1.41
BMI	-1.32	-0.56	0.000	-1.89	-0.74	1.60
胃 胃底部最頂部 3次元の移動距離 吸気・膨張基準の呼気・収縮	1.37	0.25	0.030	0.14	2.59	1.33

立ち上がりテストが従属変数の場合、強制投入法の独立変数である年齢と性別に加えて、筋肉率および仰臥位での a「吸気・膨張」と b「呼気・収縮」時の臍高位周径変化量が有意な変数としてモデルへ含まれた（調整済み R² 値=0.699、p<0.001、重回帰式：立ち上がりテスト=-2.14+(-0.07×年齢)+(-0.73×性別)+(0.15×筋肉率)+(0.23×仰臥位の臍周径変化)、表 7）。また、肝臓もしくは胃の各部位の 3 次元の移動距離の独立変数を②e「安静」を基準とした f「足挙げ」における肝臓の右葉最頂部（調整済み R² 値=0.745、p<0.001、重回帰式：立ち上がりテスト=-1.44+(-0.07×年齢)+(-0.63×性別)+(0.15×筋肉率)+(0.20×仰臥位の臍周径変化)+(-0.30×肝臓の移動距離)、表 8）と右葉下端（調整済み R² 値=0.721、p<0.001、重回帰式：立ち上がりテスト=-1.96+(-0.07×年齢)+(-0.75×性別)+(0.15×筋肉率)+(0.21×仰臥位の臍周径変化)+(-0.22×肝臓の移動距離)、表 9）および胃の大弯最下端（調整済み R² 値=0.723、p<0.001、重回帰式：立ち上がりテスト=-3.36+(-0.06×年齢)+(-1.05×性別)+(0.17×筋肉率)+(0.22×仰臥位の臍周径変化)+(-0.21×胃の移動距離)、表 10）・③e「安静」を基準とした a「吸気・膨張」における胃の大弯最下端（調整済み R² 値=0.723、p<0.001、重回帰式：立ち上がりテスト=-3.68+(-0.07×年齢)+(-0.66×性別)+(0.15×筋肉率)+(0.21×仰臥位の臍周径変化)+(0.17×胃の移動距離)、表 11）・① a「吸気・膨張」を基準とした b「呼気・収縮」における胃の大弯最下端（調整済み R² 値=0.732、p<0.001、重回帰式：立ち上がりテスト=-4.44+(-0.07×年齢)+(-0.73×性別)+(0.16×筋肉率)+(0.23×仰臥位の臍周径変化)+(0.15×胃の移動距離)、表 12）とした場合において、肝臓もしくは胃の各部位の 3 次元の移動距離も有意な変数としてモデルへ含まれた。

表 7. 立ち上がりテストを従属変数とした重回帰分析

独立変数は強制投入法の年齢・性別、ステップワイズ法の BMI・筋肉率・
仰臥位の臍周径囲変化量・肝臓もしくは胃の 3 次元の移動距離で、
表に無記載の独立変数はステップワイズ法により除外。

独立変数	非標準化係数B	標準化係数B	有意確率	Bの95.0%信頼区間		VIF 分散インフレ要因
				下限	上限	
定数	-2.14		0.405	-7.26	2.99	
年齢	-0.07	-0.61	0.000	-0.09	-0.05	1.30
性別	-0.73	-0.20	0.087	-1.57	0.11	1.96
筋肉率	0.15	0.52	0.000	0.08	0.21	2.03
仰臥位での 臍高位周径囲変化量	0.23	0.24	0.008	0.06	0.40	1.04

表 8. 立ち上がりテストを従属変数とした重回帰分析

独立変数は強制投入法の年齢・性別、ステップワイズ法の BMI・筋肉率・
仰臥位の臍周径囲変化量・②e「安静」を基準とした f「足挙げ」における肝臓の右葉最頂部の
3 次元の移動距離で、表に無記載の独立変数はステップワイズ法により除外。

独立変数	非標準化係数B	標準化係数B	有意確率	Bの95.0%信頼区間		VIF 分散インフレ要因
				下限	上限	
定数	-1.44		0.544	-6.18	3.31	
年齢	-0.07	-0.60	0.000	-0.09	-0.05	1.30
性別	-0.63	-0.18	0.107	-1.41	0.14	1.97
筋肉率	0.15	0.52	0.000	0.08	0.21	2.03
仰臥位の臍高位周径変化	0.20	0.21	0.011	0.05	0.36	1.05
肝臓 右葉最頂部 3次元の移動距離 安静基準の足挙げ	-0.30	-0.22	0.007	-0.51	-0.09	1.03

表 9. 立ち上がりテストを従属変数とした重回帰分析

独立変数は強制投入法の年齢・性別、ステップワイズ法の BMI・筋肉率・
仰臥位の臍周径囲変化量・②e「安静」を基準とした f「足挙げ」における肝臓の右葉下端の
3次元の移動距離で、表に無記載の独立変数はステップワイズ法により除外。

独立変数	非標準化係数B	標準化係数B	有意確率	Bの95.0%信頼区間		VIF 分散インフレ要因
				下限	上限	
調整済みR ² 値=0.721、p<0.001						
定数	-1.96		0.426	-6.91	2.98	
年齢	-0.07	-0.61	0.000	-0.09	-0.05	1.30
性別	-0.75	-0.21	0.070	-1.56	0.07	1.96
筋肉率	0.15	0.54	0.000	0.09	0.21	2.05
仰臥位の臍高位周径変化	0.21	0.22	0.012	0.05	0.37	1.05
肝臓 右葉下端 3次元の移動距離 安静基準の足挙げ	-0.22	-0.16	0.050	-0.44	0.00	1.03

表 10. 立ち上がりテストを従属変数とした重回帰分析

独立変数は強制投入法の年齢・性別、ステップワイズ法の BMI・筋肉率・
仰臥位の臍周径囲変化量・②e「安静」を基準とした f「足挙げ」における胃の大弯最下端の
3次元の移動距離で、表に無記載の独立変数はステップワイズ法により除外。

独立変数	非標準化係数B	標準化係数B	有意確率	Bの95.0%信頼区間		VIF 分散インフレ要因
				下限	上限	
調整済みR ² 値=0.723、p<0.001						
定数	-3.36		0.187	-8.41	1.70	
年齢	-0.06	-0.56	0.000	-0.08	-0.04	1.37
性別	-1.05	-0.29	0.019	-1.91	-0.18	2.24
筋肉率	0.17	0.61	0.000	0.10	0.24	2.33
仰臥位の臍高位周径変化	0.22	0.23	0.008	0.06	0.38	1.04
胃 大弯最下端 3次元の移動距離 安静基準の足挙げ	-0.21	-0.18	0.041	-0.42	-0.01	1.17

表 11. 立ち上がりテストを従属変数とした重回帰分析

独立変数は強制投入法の年齢・性別、ステップワイズ法の BMI・筋肉率・
仰臥位の臍周径囲変化量・③e「安静」を基準とした a「吸気・膨張」における胃の大弯最下端の
3次元の移動距離で、表に無記載の独立変数はステップワイズ法により除外。

独立変数	非標準化係数B	標準化係数B	有意確率	Bの95.0%信頼区間		VIF 分散インフレ要因
				下限	上限	
調整済みR ² 値=0.723、p<0.001						
定数	-3.68		0.155	-8.81	1.46	
年齢	-0.07	-0.58	0.000	-0.09	-0.04	1.32
性別	-0.66	-0.18	0.105	-1.47	0.15	1.97
筋肉率	0.15	0.53	0.000	0.08	0.21	2.04
仰臥位の臍高位周径変化	0.21	0.22	0.011	0.05	0.37	1.05
胃 大弯最下端 3次元の移動距離 安静基準の吸気・膨張	0.17	0.17	0.040	0.01	0.33	1.06

表 12. 立ち上がりテストを従属変数とした重回帰分析

独立変数は強制投入法の年齢・性別、ステップワイズ法の BMI・筋肉率・
仰臥位の臍周径囲変化量・①a「吸気・膨張」を基準とした b「呼気・収縮」における胃の大弯
最下端の 3次元の移動距離で、表に無記載の独立変数はステップワイズ法により除外。

独立変数	非標準化係数B	標準化係数B	有意確率	Bの95.0%信頼区間		VIF 分散インフレ要因
				下限	上限	
調整済みR ² 値=0.732、p<0.001						
定数	-4.44		0.093	-9.65	0.77	
年齢	-0.07	-0.59	0.000	-0.09	-0.05	1.31
性別	-0.73	-0.20	0.071	-1.53	0.06	1.96
筋肉率	0.16	0.56	0.000	0.09	0.22	2.08
仰臥位の臍高位周径変化	0.23	0.24	0.005	0.08	0.39	1.04
胃 大弯最下端 3次元の移動距離 吸気・膨張基準の呼気・収縮	0.15	0.19	0.020	0.03	0.28	1.04

4.考察

本研究の目的は、仰臥位での「最大呼吸および腹部の最大収縮/膨張運動」や「腹筋群を動員する足挙げ運動」時における肝臓・胃の物理的移動の大きさを定量化し、両者の物理的移動の大きさが健康状態や身体機能へ与える影響を明らかにすることとした。仮説として“消化器系臓器を物理的に大きく移動できる人は、便秘状態をはじめとした健康状態が良く、さらに身体機能が高い”と設定したが、結果は仮説

を一部支持し、肝臓・胃の移動距離は便秘状態をはじめとした健康状態へ影響しなかった一方で、KA や立ち上がりテストといった身体機能の指標へ影響した。

肝臓・胃の移動距離は、便秘症状に関する PAC-QOL と便秘記録のスコアおよび便秘率といった便秘状態や、健康状態へ影響しなかった。PAC-QOL は数値が低いほど便秘症状に関連した QOL が高いことを表し、排便回数が週 3 回未満といった便秘に悩む 140 名の対象者を調査した研究 (吉良, 2013) では約 40%前後であったのに対し、本研究の対象者は $8.5 \pm 7.7\%$ であった。また、便秘記録の評価において、本研究の対象者の便秘スコアは 78%以上・便秘率は 90%以上を記録した。さらに健康状態に関して、本研究の対象者における 1 日あたりの身体活動量 (38.7 ± 5.8 METs・時) や 3METs 以上の身体活動に関する 1 日あたりの身体活動量 (11.8 ± 6.4 METs・時) は、先行研究 (Kikuchi, et al., 2020) の 43.3 ± 9.8 METs・時や 17.8 ± 12.7 METs・時に比べてやや少なかったものの、本研究の対象者は腰痛症状や腰痛による機能障害度がほとんどなく、SF-36 各尺度の平均値が国民標準値 (健康医療評価研究機構, 2011) に比べて 9~13%高く、EQ-5D-5L の結果も健康状態の QOL が高いと考えられる $4.1 \pm 4.3\%$ であった。これらのことから、本研究の対象者は消化器機能に問題がなく便秘状態が良好であったため、また、腰痛に悩まされておらず健康状態も良好であったために、肝臓・胃の移動距離による影響を受けなかったと考える。

肝臓・胃の移動距離は健康状態へ影響しなかった一方で、KA や立ち上がりテストの指標へ影響した。重回帰式を踏まえると、②e「安静」を基準とした f「足挙げ」といった横隔膜や腹筋群を意識しない運動時に肝臓・胃が大きく動いた人は、KA や立ち上がりテストの指標が低かった。②e「安静」を基準とした f「足挙げ」における肝臓・胃の主な移動方向は、身体の前方向 (腹側方向) および下方向 (尾側方向) (図 3~6 の前後移動距離および上下移動距離) である。「足挙げ」では骨盤を後傾方向へ固定するために腹筋群を収縮させるが、腹筋群を収縮させると腹圧は上昇し、腹腔内の空間が狭くなるために、肝臓・胃の前方向および下方向への移動は制限される。本結果でも図 3~6 の前後移動距離および上下移動距離における「③から④にかけて」、もしくは「⑤から⑥にかけて」示されるように、腹部を「膨張」から「収縮」へ変化させると肝臓・胃は後ろ方向および上方向へ移動する。つまり、②e「安静」を基準とした f「足挙げ」において、肝臓・胃が前方向および下方向へ大きく動いた人は、腹筋群の機能が低下しており、KA や立ち上がりテストの指標の低さへ反映されたと考える。

②e「安静」を基準とした f「足挙げ」とは反対に、①a「吸気・膨張」を基準とした b「呼気・収縮」や③e「安静」を基準とした a「吸気・膨張」といった横隔膜や腹筋群を意識した運動時に肝臓・胃が大きく動いた人は、KA や立ち上がりテストの指標が高かった。横隔膜や腹筋群を意識した運動では、肝臓・胃の物理的移動の大きさは横隔膜や腹筋群の機能に左右される。また、立位バランス制御時における横隔膜の筋活動と身体重心変位の関連を調査した研究 (Janssens, et al., 2021) では、身体重心変位が大きくなると横隔膜の筋活動量が増加するという正の相関関係が報告され、バランス制御のために横隔膜の活動が貢献していることを示唆している。これらを踏まえると、肝臓・胃を大きく動かした人は横隔膜や腹筋群の機能が高く、KA や立ち上がりテストで高い指標を示せたと考える。

本研究は、MRI 装置内で実施可能な運動として仰臥位での「最大呼吸および腹部の最大収縮/膨張運動」や「腹筋群を動員する足挙げ運動」を実施した。その際の肝臓・胃の移動距離が KA や立ち上がりテストの指標に影響したという結果は、ウォーキングやジョギングといった運動・スポーツの一般的なものと捉えられる四肢を大きく動かす動的な運動のみならず、比較的静的な仰臥位での運動の実施でも身体機能の改善・向上に繋がる可能性を示した。また、日本人 60 歳代の平均で $1.0 \sim 1.2$ kg の重量がある肝臓

(Sawabe, et al., 2006) や飲食物で満たされた胃が最大で 6~9cm 動いたという本結果から、肝臓・胃の位置によって体幹部のセグメントおよび身体全体の重心位置が変化することが予想される。つまり、肝臓・胃の位置による日常生活動作や競技パフォーマンスへの影響が考えられ、今後の研究で、内臓器の位置や物理的な移動を考慮した動作・競技パフォーマンス分析が新たな知見に繋がる可能性がある。

本研究の限界は 2 つあり、1 つ目は本研究の対象者は健康状態に大きな問題を抱えていなかった。本研究では「MRI 撮影が可能な成人男女」を対象者の包含基準とし、研究参加協力の募集要領を周知して対象者を募集した。そのため、本研究へ参加した対象者は自身の健康状態に興味・関心がある場合が多く、健康状態に注意しながら日常生活を送っていたために健康状態に大きな問題を抱えていなかったと考えられる。対象者が健康状態に問題を有する場合、肝臓・胃の移動距離が健康状態へ影響した可能性がある。2 つ目は、肝臓・胃の移動距離の撮影において、MRI 装置内で可能な仰臥位での運動しか実施できていない。立位などの体位の違いや四肢を大きく動かす動的な運動時における内臓器の物理的な移動は不明であり、健康状態や身体機能へ影響する可能性がある。

5. 結論

本研究は、MRI を用いて仰臥位での「最大呼吸および腹部の最大収縮/膨張運動」や「腹筋群を動員する足挙げ運動」時における肝臓および胃の物理的移動の大きさを定量化し、両者の物理的移動の大きさが健康状態や身体機能へ与える影響を明らかにした。その結果、肝臓・胃の移動距離は健康状態へ影響しなかった一方で、KA や立ち上がりテストといった身体機能の指標へ影響し、「足挙げ」といった横隔膜や腹筋群を意識しない運動時に肝臓・胃が大きく動いた場合は KA や立ち上がりテストの指標が低く、横隔膜や腹筋群を意識した運動時に肝臓・胃が大きく動いた場合は KA や立ち上がりテストの指標が高かった。

6. 参考文献

- Fukuhara S., Bito S., Green J., et al., (1998). Translation, adaptation, and validation of the SF-36 Health Survey for use in Japan. *Journal of clinical epidemiology*, 51(11), 1037-1044.
- Imai A., Kaneoka K., Okubo Y., et al., (2014). Comparison of the immediate effect of different types of trunk exercise on the star excursion balance test in male adolescent soccer players. *International journal of sports physical therapy*, 9(4), 428.
- Imai A., Kaneoka K., Okubo Y., et al., (2015). Immediate effects of different trunk exercise programs on jump performance. *International Journal of Sports Medicine*, 197-201.
- Janssens L., Jacobs N., Langer D., et al., (2021). Does the diaphragm contribute to balance control in patients with COPD? *European Respiratory Journal*, 58, PA2211.
- 健康医療評価研究機構, (2011). 健康関連 QOL 尺度 SF-36v2™ 日本語版マニュアル 2011 年 11 月版.
- Kikuchi H., Inoue S., Odagiri Y., et al., (2020). Intensity-specific validity and reliability of the Japan Public Health Center-based prospective study-physical activity questionnaire. *Preventive Medicine Reports*, 20, 101169.

- 吉良いずみ, (2013). 日本語版 The Patient Assessment of Constipation Quality of Life Questionnaire の信頼性と妥当性の検討. 日本看護研究学会雑誌, 36(2), 2_119-2_127.
- Marquis P., De La Loge C., Dubois D., et al., (2005). Development and validation of the Patient Assessment of Constipation Quality of Life questionnaire. *Scandinavian journal of gastroenterology*, 40(5), 540-551.
- Murofushi K., Yamaguchi D., Katagiri H., et al., (2022a). The relationship between movement self-screening scores and pain intensity during daily training. *The Journal of Medical Investigation*, 69(3.4), 204-216.
- Murofushi K., Yamaguchi D., Katagiri H., et al., (2022b). Validity of the KOJI AWARENESS self-screening test for body movement and comparison with functional movement screening. *PloS one*, 17(12), e0277167.
- Ota M., Kaneoka K., Hangai M., et al., (2011). Effectiveness of lumbar stabilization exercises for reducing chronic low back pain and improving quality-of-life. *Journal of physical therapy science*, 23(4), 679-681.
- Roland M., & Fairbank J., (2000). The Roland–Morris disability questionnaire and the Oswestry disability questionnaire. *Spine*, 25(24), 3115-3124.
- Sawabe M., Saito M., Naka M., et al., (2006). Standard organ weights among elderly Japanese who died in hospital, including 50 centenarians. *Pathology international*, 56(6), 315-323.
- Shiroiwa T., Fukuda T., Ikeda S., et al., (2016). Japanese population norms for preference-based measures: EQ-5D-3L, EQ-5D-5L, and SF-6D. *Quality of life research*, 25, 707-719.