

特集

<腰部・体幹のアスレティックトレーニング>

呼吸機能と体幹，横隔膜の関係性について

大貫 崇¹⁾

キーワード：横隔膜，呼吸，腹横筋，内腹斜筋，包括的アプローチ

I はじめに

生命維持に不可欠な呼吸機能が，近年アスレティックトレーニングやリハビリテーションの分野で注目を集めている。呼吸がもたらす体幹機能への貢献¹⁻³⁾が明らかになり，腰部のリハビリテーションやコンディショニングにおいて，呼吸を活用したエクササイズが用いられ始めている⁴⁻¹⁰⁾。そこで本稿では，まず横隔膜の体幹安定筋と呼吸筋としての機能を明らかにし，その機能不全の介入の方法などについて検討する。

II 横隔膜の重要性について

腰部・体幹において，重要とされる深層の腹横筋，内腹斜筋，多裂筋，骨盤底筋群，そして横隔膜は，脊柱の安定性に寄与している^{11,12)}ことは周知されており，これらの筋肉群が立体的に上方，側方，下方からコルセットのような安定性を脊柱に与えている¹³⁾。この筋肉群のうち，横隔膜に関しては，体幹の一部でありながら，同時に主呼吸筋である^{14,15)}であり，単純に骨格筋としての機能だけでは，横隔膜の機能を考えることはできない。

Walden は，横隔膜は複雑な複合体であり，横隔膜ほど構造的にも体の中心にあり，身体的，生化学的，そして精神的にも中心の役割を果たしている筋肉はないと述べている¹⁶⁾。主呼吸筋としての役割だけでなく，姿勢維持，脊柱の減圧，体液の流動性，内臓機能の安定，情動の制御¹⁶⁾，そして消化¹⁷⁾などあまりよく知られていない機能も含めると，一つの筋肉がこれだけ多くの役割を果たしていることに驚かされる。

Courney¹⁸⁾は，呼吸機能不全 (Dysfunctional Breathing (DB)) を多次元で考えることを提唱し，それらは，身体運動的，生化学的，そして精神心理学的な3つの側面であるとしている (図1)。この3つの側面はお互いに密接に関連しあっており，身体機能の以上だけでなく疾病，そして精神的もしくは情動的な健康に大きく関わ

ている¹⁸⁾。またDBが引き起こす健康上の問題に関して理解することは，DBを構成する要因が定量化されていないため難しいとしながらも，呼吸療法は呼吸機能を向上させ，DBを解消することに効果があり，意識的にコントロールすることを学べるため，身体的，そして心理的な健康の維持に対する入り口になるとしている¹⁹⁾。アスレティックトレーナーは，アスリートの健康管理に関して幅広い分野からのアプローチが必須となるため，身体運動学的な側面のみならず，包括的でホリスティックな考え方が求められており，呼吸への理解がその入り口となるだろう。

III 横隔膜について

横隔膜の筋線維，その複雑な構造から付着部によって，胸骨部，肋骨部，腰椎部の3つのグループに分けることができる¹⁶⁾。胸骨部の筋線維は剣状突起に付着し，肋骨部は，肋骨7番から12番の内側面に付着しており，腹横筋と合流する部分がある。腰椎部の筋線維は弓状靭帯と腰椎1番から3番の椎体の前部に付着している^{16,20)}。弓状靭帯が大腰筋，腰方形筋，そして腹横筋と筋膜を通して繋がっていることを考えると，これらの筋肉群の活動状態が横隔膜に影響を及ぼし，逆もまた然りである¹⁶⁾。

横隔膜の形状は，ドーム状であり，横隔膜の筋収縮によりこのドームが下降，平らになることによって¹⁹⁾，吸気が可能となる。吸気の際，この横隔膜の下降により，胸腔内の圧力が変化し，空気が肺胞の中に引き込まれるメカニズムである²¹⁾。また吸気の際，横隔膜が求心性の収縮により短縮しながら下降していくのに対し，呼気の際は遠心性の収縮でもって上昇し，肺に入った空気を押し出していくことで息が吐ける¹⁶⁾。主呼吸筋としての横隔膜は，静止時呼吸の70-80%の仕事量を担うとされ，残りの20-30%は斜角筋，胸鎖乳突筋，外肋間筋，胸骨周辺の肋間筋が担うとされている²²⁾。

横隔膜に加え，斜角筋，肋間筋，腹壁など副呼吸筋

¹⁾ BP&CO.

大阪大学大学院医学系研究科健康スポーツ科学講座スポーツ医学教室 特任研究員

PRI ジャパン 教育コーディネーター

Improve KYOTO アドバイザー，〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-2 最先端医療イノベーションセンター棟9階901A



図1 呼吸を表す3つの側面
文献19より作図

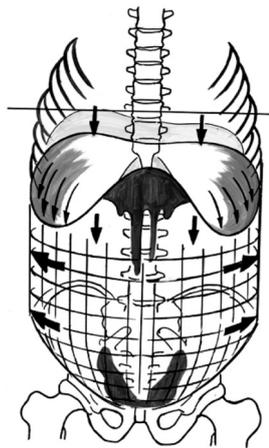


図2 呼吸のポンプ (吸気時)

吸気時には横隔膜が求心性の収縮をし、腹腔内圧が高まる。(イラストレーター横山英史氏より許諾を得て改変し転載²⁷⁾)

は、胸腔と腹腔の共同作用による圧力の受け渡しを行うことができ、効果的な呼吸の「ポンプ」を作り出す^{23,24)}。(図2) 具体的には横隔膜が求心性収縮をする吸気時には、下降する横隔膜に押された腹腔内の臓器などにより、腹壁の筋肉群が伸ばされ、腹横筋などが遠心性の収縮を行うことにより、腹腔内圧を保つ^{3,25,26)}。反対に、横隔膜が遠心性の収縮をする呼気時には、腹横筋などの腹壁の筋肉群が求心性の収縮をすることで、腹腔内の臓器を押しあげて腹腔内圧を保持するのである^{3,16,25,26)}。つまり、胸郭内に空気が入り膨らむ吸気時には、腹腔も同じように膨らみ、呼気時には胸郭から空気が出ていくため萎み、腹壁の求心性収縮により腹腔も同じように萎むため、胸郭と腹腔はシンクロしながら呼吸動作を繰り返しているということになる⁵⁾。

通常このポンプは胸腔と腹腔のバランスが取れている場合問題なく働くが、特定の疾患や疾病によって変化させられることがある。例えば、側弯、胸椎の後弯、神経筋疾患、肥満、喘息、または肺気腫などである²⁴⁾。加えて、精神的なストレスによっても変化が起こることがわかっている²⁸⁻³⁰⁾。

この呼吸のポンプ機能の変化とは、運動制御、姿勢維持、そして呼吸機能に欠かせない横隔膜を始め、腹横筋や骨盤底筋群の機能が低下を意味しており、このポンプ機能の低下は、腰痛や腰部の怪我に繋がる事がわかっている³¹⁻³⁴⁾。

Ⅳ 横隔膜の姿勢維持について

横隔膜が姿勢維持、運動制御の安定性に寄与しながらも、呼吸機能を同時に維持していることは多くの文献からわかっている^{1,35-42)}。先にも述べた通り呼吸のポンプ機能により、横隔膜と腹壁の筋肉群は協力して胸腔・腹腔にシリンダーのように圧力をもたらし、これが脊柱の安定化に役立っている⁴³⁻⁴⁵⁾。Hodgesらによれば、横隔膜の緊張により腹腔内圧が高まれば、腰椎の剛性が高まるということも報告している²⁾。もはや、脊柱の安定化には横隔膜の役割を無視することはできず、姿勢維持に加えて呼吸機能の正常化はもちろん、嚙下、発声などと統合され、バランスを取る必要がある^{19,46)}。アスリートのパフォーマンスを考えた時に、体幹トレーニングは重要であるという認識は周知されているが、この際、横隔膜の役割を考慮し、腹壁の筋肉群の強化のみならず、呼吸機能と統合しながらコンディショニングを進めていくべきであることが示唆されている^{5,47)}。

Ⅴ 腰痛患者の横隔膜の状態

最近のMRIを用いた研究では、腰痛患者の横隔膜は、健常者に比べ薄く、呼吸のテンポも早いことがわかった⁴⁶⁾。また吸気の際、腰痛患者は、健常者よりも横隔膜の下降する長さが小さいことがわかっていて⁴⁶⁾、腰痛患者の横隔膜は健常者に比べて疲労しやすいという報告もされている⁴⁸⁾。またKolarらは、腰痛患者の横隔膜の下降が健常者に比べて少ないだけでなく、上肢や下肢に負荷を与えた際は、吸気時も呼気時も横隔膜の活動域が少なくなり、位置が高くなることを示した⁴⁹⁾。

エコー検査を用いた研究では、吸気時に両側横隔膜の厚みに差が見られ、腰痛患者の横隔膜の方が薄いことがわかっている⁵⁰⁾。このように腰痛患者の横隔膜の状態は、健常者に比べ薄く、そして四肢に対する負荷に対して、腹腔内圧のコントロールや腹壁との協調性を失っていると考えられる^{51,52)}。

Ⅵ 腰痛に対する横隔膜アプローチの検討

腰痛患者には横隔膜の厚さ、そして横隔膜と腹壁の筋肉群との協調性を取り戻すことが治療アプローチのヒントになるわけだが、横隔膜を患者自身が直接、横隔膜の状態を把握し、筋収縮でコントロールすることは難しい。というのも横隔膜の筋繊維に含まれている受容体の

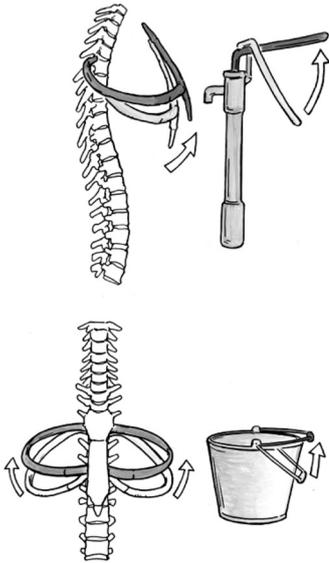


図3 ポンプハンドルとバケツハンドル

吸気時には肋骨は外旋動作として上・前・外側方向に動く。上部肋骨は矢状面上の前後動作、下部肋骨では前額面上の内外動作が顕著である。(イラストレーター横山英史氏より許諾を得て改変し転載²⁷⁾)

数が、通常の筋肉に含まれる受容体より少ないからである⁵³⁻⁵⁵⁾。同時に横隔膜の構造的なアドバンテージは、胸郭を構成する肋骨の形状に影響を受けており^{56,57)}、受容体の数が少なく直接的に変化を促すことが難しい横隔膜の構造的最適化は、胸郭の形状変化に頼る必要がある。

肋骨上部では「ポンプハンドル」のように矢状面上を中心に、肋骨下部では「バケツハンドル」のように前額面状を中心に動作している⁵⁸⁾(図3)。吸気時に外旋をし、上・前・外側方向に、呼気時には下・後・内側方向に回旋して動く⁵⁹⁾ことを考慮して、適切に横隔膜のドームが上昇と下降を行う環境を作る必要がある。

横隔膜と胸郭の形状変化を考えた時に特に重要であるのは、横隔膜の付着部である肋骨の7番から12番の動作安定性である。構造的アドバンテージを活かすためには、ドームの半径を小さくすることが必要であり⁵⁶⁾、それに付随するのが肋骨の内旋運動である。この場合、肋骨下部に付着する腹横筋や内腹斜筋が肋骨の内旋筋として適切であり、肋骨の内旋、ならびに呼気を伴った腹横筋や内腹斜筋を中心とする腹壁筋群の求心性、そして遠心性収縮を制御する能力が腰痛患者への横隔膜アプローチの鍵となると考えられる。

特に平常時の呼吸において、胸郭の形状を制御できる能力は、適切な横隔膜ドームの上昇と下降につながる。まずは、呼気時において、肋骨の内旋が適切に行われるとドームは上昇し、吸気時には過度な肋骨の外旋を伴わない、制御された吸気が行われるとドームの下降が可能になり、それは次の呼気時の上昇に繋がる。このようにして胸郭と腹腔の圧力の受け渡しによる正常な呼吸のポ



図4 アンチパラドックス呼吸
胸郭と腹腔をシンクロさせて行う。



図5 肋骨内旋呼吸
なるべく肋骨が内旋するように呼吸を促し、腹腔とシンクロさせる。

ンプが維持できる。

Ⅶ 肋骨の内旋を促す呼吸エクササイズ

正常な呼吸のポンプを評価、もしくは介入するためには、適切な横隔膜ドームの上昇と下降を認識することが必須であるが、横隔膜に含まれる受容体の数が乏しいため^{53,54,60)}、患者本人が横隔膜のポジションを把握することは難しい。同時に横隔膜のポジションは胸郭や肋骨の形状変化に影響を受けているため^{56,57)}、適切な横隔膜ドームの上昇には肋骨の内旋運動が適している。ここでは患者本人の肋骨の動作を認識するサンプルエクササイズを紹介する。

—アンチパラドックス呼吸 (図4)

仰臥位で胸骨と臍に手を当て、胸郭と腹腔が同時に膨らむように吸気する。呼気の際は同時に萎むように呼吸をする^{5,47)}。呼吸のテンポは、吸う1:吐く3:止める1とし、ゆっくりとしたペースで呼吸を繰り返す。座位、立位でも可。胸郭と腹腔に置いた手の高さが常に揃っているように注意して行う。胸郭に空気が入り吸気ポジ

ションのまま呼吸を繰り返している場合は胸に置いた手の方が高くなり、臍に置いた手のみ動く傾向にある。

—肋骨内旋呼吸 (図5)

仰臥位で肋骨縁のあたりに両手を起き、吸気時の肋骨の外旋、呼気時の肋骨の内旋を認識する。呼気時には特に注意して肋骨の内旋を促し、獲得した内旋を失わないように次の吸気に移る^{5,47)}。呼吸のテンポはアンチパラドックス呼吸と同じ。

Ⅷ 左右肋骨の内旋能力と胸郭の回旋

適切な圧力の受け渡しを胸郭と腹腔の間で行う正常な呼吸のポンプは、肋骨の適切な内旋能力が求められることは先述の通りだが、適切な肋骨の内旋能力は胸郭の回旋運動にとっても必須である^{61,62)}。Leeによれば、胸郭は筋骨格、呼吸器、循環器、消化器、泌尿器系など全身の統合された多くシステムの重要な一部だとしながら、胸郭自身も多数の関節を持つ統合されたシステム⁶²⁾ だとしている。1つの胸椎と肋骨で形成されるリングにつき13もの関節があるとされる胸郭⁶³⁾ において、そのバイオメカニクスをエビデンス化するのは難しいとしながらも、胸椎・肋骨の骨運動、関節運動において、胸椎右回旋時には右肋骨の外旋(肋骨後方の後方回旋)、左肋骨の内旋(肋骨後方の前方回旋)が起こると報告している⁶²⁾。これが意味するのは、例えば、左肋骨の内旋に制限がある場合は、胸椎の右回旋に制限が起こる、という事である。つまり左右の肋骨の内旋能力の差が、左右の胸郭回旋能力に差を生む。

左右の回旋能力の差を検討する際、半横隔膜の形状の左右差や腹腔における臓器のポジションも見逃せない。弓状靭帯から走行する右半横隔膜の脚部は、3つの腰椎椎体に付着するのに対し、左半横隔膜の脚部は2つである²⁰⁾。また左の半横隔膜は右の半横隔膜より常に下に位置し、これらは右にある肝臓のポジションに支えられているか、もしくは左にある心臓の重さによる影響を受けている⁶⁴⁾。肝臓に支えられておりドーム状の形を取りやすい右半横隔膜と、心臓の重さにより平らな吸気ポジションになりやすい左半横隔膜は、左右の肋骨の内旋能力に差を生むと考えられ、同時に胸郭のバイオメカニクスに影響を与えるものと考えられる⁵⁷⁾。

Kiryuらは、ダイナミックMRIを用いた横隔膜の観察研究において、背臥位、伏臥位、右横臥位において左半横隔膜に比べ右半横隔膜のエクサージョンが大きかったことを報告しており⁶⁵⁾、左右の半横隔膜のポジションの違いを明確にしている。またTeradaらは、慢性足関節症のグループにおいて、左半横隔膜の収縮性に有意な差を認めており、慢性足関節症患者の横隔膜の機能不全と中枢神経系の変化を指摘している⁶⁶⁾。半横隔膜



図6 90-90 ヒップリフト w/ ライト・アーム・リーチ & バルーン

右腕を天井に伸ばすことで胸郭の左回旋、左肋骨の内旋を促している。
Used with permission from Postural Restoration Institute®, ©2019,
www.posturalrestoration.com/japan.

のポジションの違いが、胸郭や肋骨の回旋能力のみならず、腰部や頸部⁵⁷⁾、そして足関節まで影響を及ぼしている可能性を考慮すべきであり、今後さらなる検証が期待される。

Ⅷ 左右胸郭・肋骨の回旋能力の差を考慮したエクササイズ

先述のように構造的な半横隔膜の左右差や、観察研究による横隔膜のポジションや収縮性の違いを考慮し、介入していく為には、左横隔膜のドーム状のポジションを取り戻し、正常な呼吸のポンプを構築することが目的となってくる。特に左胸郭からの呼気、左肋骨の内旋を促すエクササイズが必要となり、ここではそういったサンプルエクササイズを紹介したい。

—90-90 ヒップリフト w/ ライト・アーム・リーチ & バルーン (図6)

仰向けで両足を壁に休め、膝と股関節を90度に位置させる。10-15cmのボールを膝の間に挟んで、左手に風船を持つ。両かかとは壁を蹴らずに、地面に向かって引き、ハムストリングの活性化を感じる。ここから右手を天井に向かって伸ばしながら、風船にゆっくりと息を吹きこむ。息を吐き切ったら3秒間その状態を保ち、風船の口は摘まずに、舌を郊外にあてたまま、鼻から息を吸い、さらに風船を膨らませ右腕を天井に伸ばす。これを4呼吸繰り返す⁶⁷⁾。

—オール・フォー・レフト・ポステリア・ミディアスタイナム・エクспанション in レフト・トランク・ローテーション

四つん這いの状態になり、左手の下に3cmほどのブ

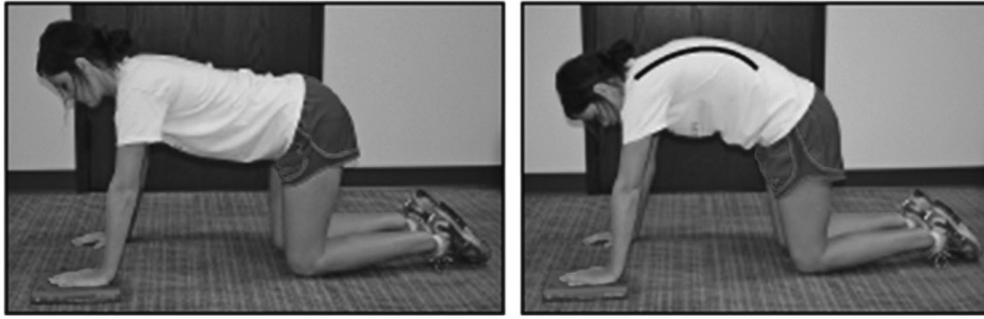


図7 オール・フォー・レフト・ポステリア・ミディアスタイナム・エクспанション in レフト・トランク・ローテーション

ブロックがあることで左側の肋骨内旋を促し、さらにそのポジションで吸気する為、左後縦隔に空気が入る。
Used with permission from Postural Restoration Institute®, ©2019, www.posturalrestoration.com/japan.

ロックを入れる。背中を丸め骨盤を後傾させ、息を吸いながら両手を地面に押す。この姿勢を保ちながら4-5回ゆっくりと呼吸をする⁶⁸⁾。

X まとめ：呼吸に対するアプローチの可能性

Courney が述べているように呼吸療法、または呼吸セラピーと呼ばれるテクニックは数多存在し、確かに効果を上げているものがある。主にこれらが効果を上げている理由としては、呼吸の機能不全を是正する、呼吸機能を補正することで治癒能力を刺激する、または精神的、情動的状态を制御することである¹⁹⁾。腰痛患者に対しても呼吸を取り入れたトレーニングを実施した際、コントロール群と同じく腰痛も減少したが、呼吸を取り入れたグループは腰椎の安定筋である横隔膜、腹横筋、そして腰部多裂筋が厚くなったこと報告もある⁶⁹⁾。しかし、まだその効果のメカニズムや、評価方法、介入による検証は十分とは言えない。

今後は腰痛の患者や体幹の安定性と呼吸トレーニングはもちろんのこと、呼吸や姿勢維持のみならず、頸部、膝・足関節などの全身への影響、情動的效果、消化器官や他臓器への影響など、横隔膜の幅広い役割とその介入方法や効果検証に関して、さらなる研究の発展が期待される分野である。

横隔膜は単に主呼吸筋としてガス交換をするだけでなく、脊柱の安定化、体幹機能への影響は大きい。さらに消化器官への役割や情動など精神的な側面まで考慮すれば、横隔膜の機能を正常化させることは、包括的に身体機能を考える上で必須となる。アスリートの外傷や障害と向き合うだけでなく、健康管理からコンディショニングまで幅広い分野で活動するアスレティックトレーナーにとって、呼吸への理解はその活動の根幹となると考えられる。

文献

- 1) Hodges PW, Butler JE, McKenzie DK, Gandevia SC. : Contraction of the human diaphragm during rapid postural adjustments. *J Physiol*, 505 : 539-548, 1997.
- 2) Hodges PW, Eriksson AE, Shirley D, Gandevia SC. : Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine. *J Biomech*, 38 : 1873-1880, 2005.
- 3) Hodges PW, Gandevia SC. : Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task. *J Physiol*, 522 : 165-175, 2000.
- 4) Ki C, Heo M, Kim HY, Kim EJ. : The effects of forced breathing exercise on the lumbar stabilization in chronic low back pain patients. *J Phys Ther Sci*, 28 (12) : 3380-3383, 2016. doi:10.1589/jpts.28.3380
- 5) 大貫 崇：コンディショニングとしての呼吸の重要性、*臨床スポーツ医学*, 35 (8) : 844-849, 2018.
- 6) Kang JI, Jeong DK, Choi H. : Effect of exhalation exercise on trunk muscle activity and oswestry disability index of patients with chronic low back pain. *J Phys Ther Sci*, 28 (6) : 1738-1742, 2016. doi:10.1589/jpts.28.1738
- 7) Hansen-Honeycutt J, Chapman EB, Nasypany A, Baker RT, May J. : A CLINICAL GUIDE TO THE ASSESSMENT AND TREATMENT OF BREATHING PATTERNS IN THE PHYSICALLY ACTIVE : PART 2, A CASE SERIES. *Int J Sports Phys Ther*, 11 (6) : 971-979, 2016.
- 8) Groessl, Erik J.; Liu, Lin; Chang, Douglas G.; Wetherell, Julie L.; Bormann, Jill E.; Atkinson, J. Hamp; Baxi, Sunita; Schmalzl, Laura : Yoga for Military Veterans with Chronic Low Back Pain : A Randomized Clinical Trial. *Am J Prev Med*, 53 (5) : 599-608, 2017. doi:10.1016/j.amepre.2017.05.019
- 9) Janssens, L; Mcconnell, AK.; Pijnenburg, M; Claeys, K; Goossens, N; Lysens, R; Troosters, T; Brumagne, S : Inspiratory muscle training affects proprioceptive use and low back pain. *Med Sci Sports Exerc*, 47 (1) : 12-19, 2015.
- 10) Yang SR, Kim YM, Park SJ, Kim CY. : Efficacy of Lumbar Segmental Stabilization Exercises and Breathing Exercises on Segmental Stabilization in Lumbar Insta-

- bility Patients. *J Kor Phys Ther*, 29 : 234-240, 2017.
- 11) Huxel Bliven, K. C., & Anderson, B. E. : (2013). Core stability training for injury prevention. *Sport Health : A Multidisciplinary Approach*, 5 (6), 514e522, <https://doi.org/10.1177/1941738113481200>.
 - 12) Akuthota V, Nadler SF. : Core strengthening. *Arch Phys Med Rehabil*, 85 (3) (suppl 1) : S86-S92, 2004.
 - 13) Smith CE, Nyland J, Caudill P, Brosky J, Caborn DN. : Dynamic trunk stabilization : a conceptual back injury prevention program for volleyballathletes. *J Orthop Sports Phys Ther*, 38 : 703-720, 2008.
 - 14) Gibson GJ. : Diaphragmatic paresis : pathophysiology, clinicalfeatures, and investigation. *Thorax*, 44 : 960--70.3., 1989.
 - 15) J. Ricoy, N. Rodríguez-Núñez, J.M. Álvarez-Dobaño, M.E. Toubes, V. Riveiro, L. Valdés : Diaphragmatic dysfunction. *Pulmonology*, 25 ; (4) : 223-235, 2019.
 - 16) Wallden M. : The diaphragm - More than an inspired design. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, (2) : 342, 2017. doi:10.1016/j.jbmt.2017.03.013.
 - 17) Pickering M, Jones JF. : The diaphragm : two physiological muscles in one. *J Anat*, 201 (4) : 305-312, 2002. doi:10.1046/j.1469-7580.2002.00095.x
 - 18) Courtney, Rosalba. : A Multi-Dimensional Model of Dysfunctional Breathing and Integrative Breathing Therapy - Commentary on The functions of Breathing and Its Dysfunctions and Their Relationship to Breathing Therapy. *Journal of Yoga & Physical Therapy*. 06. 10. 4172/2157-7595.1000257, 2016.
 - 19) Courtney R. : The functions of breathing and its dysfunctions and their relationship to breathing therapy. *International Journal of Osteopathic Medicine*, 12 (3) : 78-85, 2009. doi:10.1016/j.ijosm.2009.04.002.
 - 20) De Troyer A, Sampson M, Sigrist S, Macklem PT. : The Diaphragm : Two Muscles. *Science*, 213 : 237-238, 1981.
 - 21) West J. : Respiratory physiology. 3rd ed. London : Williams and Wilkins ; 1985.
 - 22) Loring SH, DeTroyer A : Actions of the respiratory muscles. In Roussora C, Macklem PT (eds) : *The Thorax*. New York, Marcel Dekker, 327-349, 1985.
 - 23) Konno K, Mead J. : Measurement of separate volume changes of rib cage and abdomen during breathing. *J Appl Physiol*, 22 : 407-22, 1966.
 - 24) De Troyer A, Estenne M. : Functional anatomy of the respiratory muscles. *Clin Chest Med*, 9 : 175-93, 1988.
 - 25) HODGES, PW ; GANDEVIA, SC. : Changes in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm. *Journal of applied physiology (1985)*, Bethesda, MD, 3, 967-976, 2000.
 - 26) Richardson CA, Hodges PW, Hides J : Chapter 3 Abdominal Mechanism and Support of the Lumbar Spine and Pelvis; The Challenge to Coordinate Multiple Functions. *Therapeutic Exercise for Lumbopelvic Stabilization*, 2nd Ed., Churchill Livingstone, Edinburgh, p. 54-55, 2004.
 - 27) 森本貴義, 大貫 崇 : スーパー・アスリートへの分かれ道は「呼吸」, *勝者の呼吸法*, ワニブックス, 東京, 17, 2016.
 - 28) Faulkner WB. : The effect of the emotions upon diaphragm function : observations in 5 patients. *Psychosom Med*, 3 : 187-9, 1941.
 - 29) Wolf S. : Diaphragmatic spasm : a neglected cause of dyspnea and chest pain. *Integr Physiol Behav Sci*, 29 : 74-6, 1994.
 - 30) Masaoka Y, Homma I. : Anxiety and respiratory patterns : their relationship during mental stress and physical load. *Int J Psychophysiol*, 27 : 153-9, 1997.
 - 31) Lewit K. : Relationship of faulty respiration to posture with clinical implications. *J Am Osteopath Assoc*, 79 : 525/75-529/79, 1980.
 - 32) Hodges P, Gandevia SC, Richardson CA. : Contractions of specific abdominal muscles in postural tasks are affected by respiratory maneuvers. *J Appl Physiol*, 83 : 753-60, 1997.
 - 33) Hodges P, Cresswell A, Thorstensson A. : Preparatory trunk motion accompanies rapid upper limb movement. *Exp Brain Res*, 124 : 69-79, 1999.
 - 34) Hungerford B, Gilleard W, Hodges P. : Evidence of altered lumbopelvic muscle recruitment in the presence of sacroiliac joint pain. *Spine*, 28 : 1593-600, 2003.
 - 35) Bouisset S, Duchene JL. : Is body balance more perturbed in seating than in standing posture? *Neuroreport*, 5 : 957-960, 1994.
 - 36) Gandevia SC, Butler JE, Hodges PW, Taylor JL. : Balancing acts : respiratory sensations, motor control and human posture. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 29 : 118-121, 2002.
 - 37) Hodges PW, Gurfinkel VS, Brumagne S, Smith TC, Cordo PC. : Coexistence of stability and mobility in postural control : evidence from postural compensation for respiration. *Exp Brain Res*, 144 : 293-302, 2002.
 - 38) Hodges PW, Heijnen I, Gandevia SC. : Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases. *J Physiol*, 537 : 999-1008, 2001.
 - 39) Hodges PW, Sapsford R, Pengel LH. : Postural and respiratory functions of the pelvic floor muscles. *Neuro-Urodyn*, 26 : 362-371, 2007.
 - 40) Saunders SW, Rath D, Hodges PW. : Postural and respiratory activation of the trunk muscles changes with mode and speed of locomotion. *Gait Posture*, 20 : 280-290, 2004.
 - 41) Shirley D, Hodges PW, Eriksson AE, Gandevia SC. : Spinal stiffness changes throughout the respiratory cycle. *J Appl Physiol*, 95 : 1467-1475, 2003.
 - 42) Skladal J, Skarvan K, Ruth C, Mikulenko V. : [Postural activity of the diaphragm in human] [in French]. *J Physiol (Paris)*, 61, Suppl 2 : 405-406, 1969.
 - 43) Faulkner JA. : Power output of the human diaphragm. *Am Rev Respir Dis*, 134 : 1081-1083, 1986.
 - 44) Kolar P, Neuwirth J, Sanda J, Suchanek V, Svata Z, Volejnik J, Pivec M. : Analysis of diaphragm movement,

- during tidal breathing and during its activation while breath holding, using MRI synchronized with spirometry. *Physiol Res*, 58 : 383-392, 2009.
- 45) Miyamoto K, Shimizu K, Masuda K. : Fast MRI used to evaluate the effect of abdominal belts during contraction of trunk muscles. *Spine*, 27 : 1749-1754, 2002.
- 46) Vostatek P, Novák D, Rychnovský T, Rychnovská S. : Diaphragm postural function analysis using magnetic resonance imaging. *PLoS One*, 8 (3) : e56724, 2013. doi:10.1371/journal.pone.0056724
- 47) 大貫 崇 : 呼吸エクササイズとインナーマッスル, *臨床スポーツ医学*, 35 (10) : 1096-1102, 2018.
- 48) Janssens, L., Brumagne, S., McConnell, A. K., Hermans, G., Troosters, T., & Gayan-Ramirez, G. : Greater diaphragm fatigability in individuals with recurrent low back pain. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 188 (2), 119e123, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2013.05.028>.
- 49) Kolar, P., Sulc, J., Kyncl, M., Sanda, J., Cakrt, O., Andel, R., & Kobesova, A. : Postural function of the diaphragm in persons with and without chronic low back pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 42 (4), 352e362, 2012.
- 50) Calvo-Lobo, C., Almazán-Polo, J., Becerro-de-Bengoa-Vallejo, R., Losa-Iglesias, M., Palomo-López, P., Rodríguez-Sanz, D., & López-López, D. : Ultrasonography comparison of diaphragm thickness and excursion between athletes with and without lumbopelvic pain. *Physical Therapy in Sport*, 37, 128-137, 2019.
- 51) Malatova R, Drevikovska P. : Testing procedures for abdominal muscles using the muscle dynamometer SD02. *Proc Inst Mech Eng*, H 223 : 1041-1048, 2009.
- 52) Kolar, P., Sulc, J., Kyncl, M., Sanda, J., Neuwirth, J., Bokarius, A. V, Kobesova, A. : Stabilizing function of the diaphragm : dynamic MRI and synchronized spirometric assessment. *Journal of Applied Physiology*, 109 (4), 1064-1071, 2010. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01216.2009>
- 53) Roussos C : The Intercostals and Diaphragm Myelinated Afferents. The Thorax - Part A : Physiology, 2nd ed, CRC Press, Boca Raton, 916, 1995
- 54) Yves Jammes, Sandrine Arbogast, André De Troyer : Response of the rabbit diaphragm to tendon vibration. *Neuroscience Letters*, 290 (2), 85-88, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(00\)01301-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(00)01301-X).
- 55) Duron B : Intercostal and diaphragmatic muscle ending and afferents. In Horblin TF (ed) : *Regulation of Breathing*. New York, Marcel Dekker, 473-527, 1981.
- 56) Roussos C : Mechanical Aspects of Loaded Breathing. The Thorax - Part A : Physiology, 2nd ed, CRC Press, Boca Raton, 955, 1995.
- 57) Hruska, R. J. : Influences of dysfunctional respiratory mechanics on orofacial pain. *Dental Clinics of North America*, 41 (2), 211e227, 1997.
- 58) Wilson, T.A., Rehder, K., Krayner, S., Hoffman, E.A., Whitney, C.G., Rodarte, J.R. : Geometry and respiratory displacement of human ribs. *J. Appl. Physiol*, 62, 1872-1877, 1987.
- 59) Beyer, B; Sholukha, V; Dugailly, PM; Rooze, M; Moiseev, F; Feipel, V; Van Sint Jan, S : In vivo thorax 3D modelling from costovertebral joint complex kinematics. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 29 (4) : 434-8, 2014.
- 60) Duron B : Intercostal and diaphragmatic muscle ending and afferents. In Horblin TF (ed) : *Regulation of Breathing*. New York, Marcel Dekker, 473-527, 1981.
- 61) Lee DG : Biomechanics of the thorax : a clinical model of in vivo function. *Journal of Manual and Manipulative Therapy*, 1 : 13-21, 1993.
- 62) Lee DG : Biomechanics of the thorax - research evidence and clinical expertise. *J Man Manip Ther*, 23 (3) : 128-138, 2015.
- 63) Lee D. : Manual therapy for the thorax - a biomechanical approach. Delta : Diane G. Lee Physiotherapist Corporation ; 1994.
- 64) Reddy V, Shauma S, Cobanoglu A : What dictates the position of the diaphragm-the heart or the liver? *J Thorac Cardiovasc Surg*, 108 : 4, 1994.
- 65) Kiryu S, Loring SH, Mori Y, Rofsky NM, Hatabu H, Takahashi M. : Quantitative analysis of the velocity and synchronicity of diaphragmatic motion : dynamic MRI in different postures. *Magn Reson Imaging*, 24 : 1325-1332, 2006.
- 66) Terada, M., Kosik, K. B., McCann, R. S., & Gribble, P. A. : Diaphragm contractility in individuals with chronic ankle instability. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48 (10), 2040e2045, 2016.
- 67) Hruska, R. J. : Postural Respiration, In : Appendix ; ZOA Abdominal Non-Manual Technique, Postural Restoration Institute, Lincoln, NE, USA. Appendix 6, 2000.
- 68) Hruska, R. J. : Postural Respiration, In : Appendix ; Left Posterior Mediastinum Inhibition, Postural Restoration Institute, Lincoln, NE, USA. Appendix 30, 2000.
- 69) Finta, R., Nagy, E., & Bender, T. : The effect of diaphragm training on lumbar stabilizer muscles : A new concept for improving segmental stability in the case of low back pain. *Journal of Pain Research*, 11, 3031e3045, 2018. <https://doi.org/10.2147/JPR.S181610>.

The relationship between breathing function, diaphragm and the core

Takashi ONUKI¹⁾

¹⁾ BP&CO.

Osaka University Graduate School of Medicine, Department of Health and
Sport Science, Specially Appointed Researcher
PRI Japan, Educational Coordinator
Improve KYOTO, Adviser, 2-2 Yamadaoka, Center for Medical Innovation
and Translational Research 901A, Suita-City, Osaka 565-0871, Japan

Abstract The diaphragm has been long-known as main gas exchange muscle for survival. However it has been revealed that breathing has many functions other than gas exchange, such as spinal decompression, postural stability, fluid dynamics, visceral health, and emotional regulation. For increasing attention to the core stability along with respiration, this article will review the fundamental structure and core stability function of the diaphragm as well as the recent research for low back pain. Then based on the diaphragmatic contribution to the core stability and low back pain, this article will discuss possibility of breathing exercises to normalize diaphragmatic position and function.

Key words : Diaphragm, Respiration, Internal Oblique, Transverse Abdominis, Integrative Approach