呼吸器疾患の運動生理

Exercise Physiology on Respiratory Disorders

秋山 純和¹⁾

SUMIKAZU AKIYAMA, RPT, RCE

Dept. of Physical Therapy, Sendai Rehabilitation School and National Hospital: 2-8-8 Miyagino, Miyagino-ku,
Sendai 983, Japan
TEL +81 22-295-7714

Rigakuryoho Kagaku 10 (4): 215-219, 1995. Received July 1, 1995.

ABSTRACT: As leisure activities, the author had some opportunities to learn martial arts such as *Aikido*, and *Iaido*, *Kyudo* which have come down in Japan traditionally. Martial arts include a variety of respiratory methods. Considering those martial arts or military arts as an introduction, I shaped exercise physiology under respiratory disease. Based upon several previous researches, I expounded restrictive lung disease, the relation between chronic obstructive pulmonary disease and respiratory muscles, a new study on the mechanism of Hoover's sign as paradoxical breathing, the effect of exercise load testing to anaerobic threshold, O_2 saturation and physical therapy evaluation, respiratory patients and A. D. L. and so on.

Key words: martial arts, respiratory physiology, ADL

要旨: 呼吸器疾患の運動生理について講義することを命じられた。筆者は余暇活動として伝統的に日本に伝わった武道（合気道、居合道、弓道など）を学ぶ機会があった。武道には呼吸法についてもいろいろの教えがある。それらの武術、武道を導入として呼吸器疾患における運動生理を諸家の研究成果を踏まえてまとめた。拘束性障害、閉塞性障害と呼吸筋の関係、奇異呼吸である Hoover サインのメカニズムにおける今までと異なる研究報告、運動負荷と anaerobic threshold との関係、酸素飽和度と理学療法評価、呼吸器疾患患者と ADL 等について解説した。

キーワード: 武道、呼吸生理、ADL

1) 国立仙台病院附属リハビリテーション学院：宮城県仙台市宮城野区宮城野 2-8-8 (〒983)

受付日 1995年7月1日

はじめに

私事で恐縮であるが一月初旬から労作に伴う息切れを感じるようになり、四月末になっても続いていた。呼吸困難度で言うと Hugh-Jones 第 II から III 度の状態であった。二月の半ばくらいまで我慢していたがめまいもひどくなり近所のクリニックへ行くと起立性低血圧なので、心配ないとのニュアンスで漢方薬を出してくれた。重大な病気ではないかと安心できない筆者は検査が必要ないか医師に再三尋ねたが上半身の血液循環が悪いが、まだいいとの答えであった。この経験で自分としては呼吸器障害の方の呼吸困難がいかに大変なことであるのか、また、少しでも楽になりたいという気持ちが身も持って理解できたように思った。息切れはさらなる不安につながることを実感した。

そのような折りに呼吸器疾患の運動生理について話をするよう命じられた。自分の息切れから自信を取り戻すためのひとつの手段になればと思い喜んで引受けた。

勝手な希望ではあるが教科書や文献だけでは楽しくないので、我がまますを許して頂き自分の余暇活動、趣味を導入として述べてみた。

I. 武田流合気柔之術から呼吸へ

筆者は清瀬に住んでいた頃、武田流合気柔之術というものを習い初段を頂いた。先生は津村先生といい合気、居合、剣道などの達人であった。稽古の前には準備体操といった感じで合気呼吸法というのがあった。いま思うとめいっぱい息を吐いてから、めいっぱい吸うのだから肺活量の測定に似ていた。吸うときは、まず指を開きながら両上肢を前方に突き出し、続いて挙上したのち外旋位で胸を開くようにして息を吸い（胸式呼吸）それから腹を膨らます（腹式呼吸）。二、三回もすると大変気持ちのいいものである。肺活量の測定の方は何度やっても気持ちがよいとは感じられないが、肺活量は障害のわけ方として拘束性障害と閉塞性障害として、我々理学療法士がプログラムを組むさいの指標となっているのは周知である。

酸素を多くとり入れるには、肺活量が大ききほどよいことになる。スポーツなり武道なりを続けることはある面健康的で持久力もある状態であろう。しかし、スポーツ選手や武道をしている人達が特別に呼吸訓練をしているとは聞かないので運動自体が呼吸筋と良い関係にあることは想像できる。

箭原はラットによるトレッドミル負荷を行った研究で運動負荷により横隔膜でタイプ1線維とタイプ2C線維の増加とタイプ2A線維の減少を認めた。肋間筋ではタイプ別筋線維構成に変化を認めなかった。タイプ2A線維→タイプ2C線維→タイプ1線維へと転換したものと推察している¹⁾。タイプ1はいわゆる遅筋線維、2Bは速筋線維であり、タイプ2Aと2Cは中間の性質を持つと言われている²⁾。また、横隔膜は疲労抵抗性であると言われている。

拘束性障害は%肺活量が80%以下に低下した状態であるが呼吸筋疲労の問題に関して肺線維症などでは呼吸筋不全が問題になることは少ないと言われている。菊池によれば健康人を対象に弾性負荷呼吸を行ない筋疲労の面で横隔膜より胸郭筋で疲労しやすいことを示している。また、機能的残気量（FRC：functional residual capacity）の減少が呼吸筋機能の効率を増大させていることを示唆している³⁾。閉塞性障害では1秒率が70%以下の状態である。肺気腫が代表的なその例であるが高度になると下部胸式と腹式呼吸が逆になる奇異呼吸がみられる。これはHooverのサインと呼ばれるもので肺の過膨張に伴う発生圧の低下とされている。しかしながら、吉野はCTスキャンから三次元立体画像を用いて横隔膜像を分析し従来の説と異なり、横隔膜ドームが形成する半径は肺が過膨張になるに従い小さくなるという結果を得ている。下部胸壁の吸気時における内方変位は横隔膜、肋間筋力、腹壁コンプライアンス、肺気量が関与し、横隔膜後面の形状変化によっても招来されることを示唆している⁴⁾。

いずれにしても呼吸器系理学療法においては横隔膜と胸郭筋両方へのアプローチが必要であることを示している。

II. 剣術から呼吸へ

池波正太郎の小説に「剣客商売」というのがある。主人公は「秋山小兵衛」という名前で剣の達人である。筆者と同じ名字であるので何か親戚のように感じてしまう。さて、津村先生によれば剣の達人は激しく動いても息が切れないという。あるいは、息をしているところを悟られないようにする。このことはいつも酸素が不足ないように修行をしていると言えそうである。逆に言えば、相手が息を吐いたときばかりを狙って攻撃すると息継ぎができないことになる。

このことをAT：Anaerobic Thresholdで考えてみると、理学療法士は一つのリスク管理としては酸素が不足しな

いように注意し、剣術を修行している人は自分の酸素が不足しないよう注意していることになる。剣術の達人はよけいな動きをしないで、つまりAT以下の動きで、一瞬の技を駆使できる人なのかも知れない。AT以上であれば酸素消費量は定常状態とはならず次第に増加する。

なぜか剣術を修行する人や何かを修行する人は山へ行く、あるいは麓。言えることは高ければ高い山ほど酸素が少ないという事実である。剣豪は酸素の薄いところで高地トレーニングをして赤血球を増やしているのだろうか。

筆者は我々現代人も立派に修行をしている状況があると思っている。山と同じ条件が味わえるのはジェット旅客機である。我々はジェットに乗るたびに修行していると考えてよさそうである。ジェット機の巡航高度は8400 mから12900 mであり圧力隔壁により平均で0.8気圧がかかるようになっていく。海拔高度では900 mから2400 mに相当する⁹⁾。長谷川によれば正常人5名と慢性呼吸不全およびその準備状態にある9名で減圧の影響を報告している。気圧760 mm Hg、気温28度、湿度60%の状態から温度と湿度を一定のまま気圧を670 mm Hgまで下げたとき血液ガスは正常人では PaO_2 が97.2 torrから80.4 torrへ低下し、 PaCO_2 が41.8 torrから43.3 torrへ上昇し、慢性呼吸不全群では PaO_2 74.4 torrから61.8 torrへ減少し、 PaCO_2 は39.6 torrから42.1 torrへ上昇があり PaO_2 が60 torr以下の患者が何の準備もなく搭乗することは危険をとまなうとしている⁹⁾。

最近では在宅酸素療法が一層普及しつつあるが呼吸不全の方や呼吸器障害の方がジェット機に乗る場合には注意が必要である。

III. 井川刃傷事件から呼吸へ

江戸時代に土佐藩では武士同士の切り合いが二回あったとのことである。一つは坂本龍馬も関係したという井川刃傷事件であるが上級武士と下級武士（郷士）との喧嘩である。暗い道でぶつかったのが原因であったが下級武士が切られた。切ったほうの上級武士が刀を洗っているところを知らせを受けた兄弟である下級武士に切られたのが土佐藩をあげての大騒ぎのもとになったそうである。なぜ刀を洗っていたかというと、切り合って勝った方は、少々傷であれば、武士の作法としてまず初めにするのが刀の水洗いである。浸透圧の関係で水洗いをすれば赤血球が壊れてよく落ちる。逆にすぐ洗わないと赤血球には酸素と鉄分が沢山あり、刀が酸化して錆びるからである。ぶっそんな話であるが小動脈を切ったりした

らやたらに攻撃しないで相手がじわじわと出血して意識が遠くなるのを待つそうである。つまり、循環血液量の50%を失うと循環虚脱となり二次的に低酸素症と代謝性アシドーシスをおこす。やがて脳が虚血となり、ふらつときたときがチャンスという訳である。

我々理学療法士も病院でこのような状態の方にいつも遭遇している。術後の呼吸管理では輸血が必要な状態の可能性があり、赤血球数、ヘモグロビン値やヘマトクリット値を確認するのがリスク管理として良いと言える。血液における酸素運搬能ではヘマトクリット値が40%前後で効率が良く、低くても高くても効率が悪くなる⁹⁾。ヘモグロビン濃度と動脈血酸素含量は組織への酸素供給因子の一つの要素である。

安静時は動脈血酸素分圧 PaO_2 80 mm Hg以上、動脈血二酸化炭素分圧 PaCO_2 36-42 mm Hg、酸素飽和度(SaO_2) 95%以上である。酸素飽和度はヘモグロビンの何%が酸化ヘモグロンになっているかを示すものである。近年経皮的に測定できるようになり、理学療法部門で便利な指標であり、評価およびリスク管理として普及していくべきものと思われる(図1, 2)。健康人では運動によって低下しないが呼吸器疾患患者では90%以上で理学療法を施行することが望ましい。85%は理学療法中止基準の一つとも考えられる。

IV. 柳生心眼流兵法から呼吸へ

筆者は仙台に来てから八年が経つが仙台に早く慣れたいと思い、土地に関係した活動に参加した。それが柳生心眼流兵法だったが伊達藩に三百年前から伝わっているもので無形文化財にも指定されている古武道である。八年続けたためか甲冑免許まで頂いたが一月以来の息切れのため辞めてしまった。

柳生心眼流では甲冑をつけての武術で、甲冑の重さは10から20 kgになるとのことである。(筆者は残念ながら一度も甲冑を着ける機会がなかった。) 負荷のかかった状態ではほとんど動けないと思うし、演武も二、三続けてやるのが限界である。免許が進むにつれて型稽古は二、三秒で短くなる。はじめの免許の型が一番長く五、六秒かかるが理由は足腰の鍛錬と言われている。同時に心肺機能への訓練でもあると推察される。

呼吸器障害ではエンジンが小さくなった状態であり、車体が大きいとエンジンに負担がかかる。ある意味では甲冑を着けた状態である。また、運動強度が強い歩行、階段、入浴動作が困難となる。また、手に持つ荷物が重いほど、体重が増えるほど負担となる⁷⁾。

図1 Rancho Los Amigos Medical Center の理学療法部心肺機能部門における評価（運動負荷試験）の様子である。奥が対象者であるが、酸素療法を受けながら心電図と酸素飽和度を測定する。ちなみに、手前は心肺機能部門の責任者理学療法士 John Greenwood 氏。

呼吸器疾患の評価として Wasserman は予備呼吸能を使用している⁹⁾。これは最大換気量 (MVV) と最大運動時の換気量 (VE_{max}) との差であり、健常男性では 15 l/min で最大換気量の 20 から 40% に相当する呼吸予備能があるとしている。閉塞性障害、拘束性障害では減少するのが特徴としている。また、閉塞性障害では peakVO₂ は低く、PaCO₂ を排泄する能力に限界がある。拘束性障害では閉塞性障害と同様に peakVO₂ は低く。運動強度の増加にともない PaO₂ は低下する。

V. 弓道から呼吸へ

筆者は 13 歳から 22 歳頃まで弓道を習った。弓道は三段を頂いたが十数年ずっとやっていないので現在の實力は初段もないと思う。弓を引くときは矢を放つまで一定の作法があるが息は止めることがなく、弓に矢をつがえて放つまで呼吸していると言える。特に会（かい）といって弓を引き絞った状態でも弓道の教本によれば動作と呼吸を対応させており細く長い呼吸が射技に好影響を及ぼすとしている⁹⁾。このことは呼吸が筋緊張に影響していると思われる。安静時の呼吸では呼息では横隔膜の弛緩による弾性と胸郭の弾性が重要である。関節可動域訓練で痛みのある患者では息が止まっていることに気がつく。我々も日常で緊張すると息を止めていることをよく経験するし、また、逆に息を止めると緊張しやすいことに気がつく。誘発筋電図における H 波においても呼吸の影響があるとされている¹⁰⁾。

息を止めていると筋が緊張し試合等では不利というこ

図2 対象者は酸素療法中の呼吸器疾患患者である。歩行中の酸素飽和度の反応を酸素療法の有無で評価しているところである。センサーは第 II 指、酸素飽和度測定機は理学療法士が左手で抱えている。

とになる。そのためにはリラックスの一つとして息をゆっくりと行ない筋を緊張させないことが良いことになる。昔の達人たちはそのことを知っていたのだろうと思う。

呼吸器障害の方は息が苦しく筋を緊張させやすい状態である。また咳が多いため筋を緊張させている。筋が緊張すればさらに息が苦しくなる。また、AT 以上になると乳酸の蓄積により横隔膜、肋間筋に痙攣や疼痛がおこると言われている。

呼吸器障害で弓道をされている方も多。また、比較的高齢となっても続けている姿をよく見かけた。通常四本一組で打ち終ると矢を取りに行く。的までの距離が約 28 メートルであるので往復 56 メートルである。40 本打っても 560 メートルでこれはエネルギー消費もわずかで運動強度は低い。しいて言えば道場まで歩いていくのに 30 分かかれば、この方が運動になる。呼吸器疾患患者の 6 分間歩行距離は研究報告が多いが、理学療法評価に有用な指標と考えられる。6 分間歩行距離と VO₂max との間には良好な相関を認めている。

また、立位姿勢をとるので骨には良い状態と思われる。呼吸器疾患患者においても西村は COPD 群における骨塩量の低下は特徴的な所見であり、荷重骨に対して体重の影響が強く反映され BMC と %VC に有意があると報告している¹¹⁾。

おわりに

呼吸器の運動生理についての話を命じられたが自分が元気になる為に話をした。大変自分勝手である。筆者は現在学校に勤務しているが、言い訳をすれば理学療法を

統合できない学生は呼吸器に関する理学療法と中枢系、整形、脊髄損傷などは別のものと思っている印象が強い。卒業してからは呼吸器を専門とする場合もあるがどんな障害、疾病をもつていようと呼吸も、循環も注意しなければならないし、逆に呼吸器障害をもっている方でも膝の変形性関節症があれば骨折もある。呼吸器系の理学療法だけが特別ではないということを強調しておきたかった。

自分の息切れの一つの原因は意気と勢の低下が息切れにつながったのではないかと思いはじめている。誰か言っていたように思うが息は生きに通じ粹な人生を歩みたいものである。少しでも呼吸に興味を持って下されば幸いである。

文 献

- 1) 箭原 修:長期運動負荷におけるラット呼吸筋の適応に関する基礎的検討, 日胸疾会誌, 25: 835-842, 1987.
- 2) 箭原 修, 小野寺壮吉:呼吸筋の構造. 理学療法, 5: 163-169, 1988.
- 3) 菊池喜博:拘束性肺疾患. 日胸疾会誌, 29: 293-295, 1991.
- 4) 吉野克樹:閉塞性肺疾患. 日胸疾会誌, 29: 297-301, 1991.
- 5) Albert SN:循環血液量と細胞外液. 藤田達士(訳)真興交易医書出版部, 1976.
- 6) 長谷川真紀・他:慢性呼吸不全患者の動脈血ガス分析, 一般呼吸機能に対する減圧の影響. 日胸疾会誌, 27: 304-309, 1989.
- 7) 秋山純和・他:移乗動作における運動強度について. 東北理学療法学, 4: 39-41, 1992.
- 8) Wasserman K:運動負荷テストとその評価法, 谷口興一・吉田敬義(訳)南江堂, 1989.
- 9) 小笠原清信, 白石暁共:詳細弓道. 大修館書店, 1976.
- 10) 村越康一:誘発筋電図の基礎と臨床. 神経進歩, 7: 352-374, 1963.
- 11) 西村善博・他:慢性閉塞性肺疾患患者における骨塩量低下とその関連因子. 日胸疾会誌, 31: 1548-1552, 1993.

1) 箭原 修:長期運動負荷におけるラット呼吸筋の適応に関する