

全身反応動作に及ぼす呼吸相の影響

脇田 裕久*・南 亘**・細野 信幸***

The Effect of the Respiration Phase on Whole Body Reaction Movement

Hirohisa WAKITA, Wataru MINAMI and Nobuyuki HOSONO

研究目的

素早さ要因の一つである反応時間は、これまでに心理的構え・姿勢・トレーニング・スポーツ種目・かけ声・呼吸などによって変化することが報告されている。これらの中で呼吸相と反応時間の関係について、岩崎ら⁴⁾は呼気相の局所反応時間が吸気相に比較して早くなることを報告している。また斎藤ら⁶⁾は、自然な呼吸での全身反応時間を検討し、吸気相に比較して呼気相の反応時間が短縮する傾向にあることを報告している。このように、呼吸位相が反応時間に影響を与えることから、陸上競技のスタート・射撃・ウエイトリフティングなどの各種のスポーツにおいて呼吸の調節がなされてきたが、意図的に呼吸相を制御した条件下における全身反応時間に与える影響について検討した報告はこれまでに見受けられない。

一方、福士ら¹⁾は、刺激提示間隔が反応時間に及ぼす影響を陸上競技の熟練者と非熟練者について検討した。その結果、両者ともに刺激提示までの時間が延長するほど反応時間が遅延する傾向を示した。また、熟練者の方が比較的長い間隔を与えられても動作開始を発令する中枢の興奮水準を高いレベルに保ったまま刺激を待つことができるため、非熟練者と比較して反応時間が遅れる割合が少ないことを報告している。

本研究の目的、男子大学生を対象として、意図的な止息・呼息・吸息時の呼吸制御を行わせた条件下における全身反応時間の差異および、刺激呈

示間隔の延長が全身反応時間に及ぼす影響について検討し、全身反応時間が各呼吸制御条件や刺激呈示間隔にどのような影響を受けるのかを明らかにしようとするものである。

研究方法

本実験は、健康な男子学生(年齢;19~23・身長;174.1±4.4 cm・体重;68.2±6.9 kg) 9名を対象とし、光刺激に応じて、できる限り素早く全身で跳躍する単純反応動作を行わせた。全身反応時間の測定は、被験者にフォースプレート上で両上肢を下垂させ、膝関節を約50度屈曲した立位準備姿勢をとらせた。刺激方法は、被験者の前方2メートルの位置に設置した Xenon Lamp で呈示し、次の3つの呼吸条件で実験を実施した。

- ① 止息条件 (Breath Holding : B.H. と略す) : 被験者は、験者の「用意」の指示から反応動作開始時までの間を止息状態で構えて反応動作を行う。
- ② 呼息条件 (Expiratory Phase : Exp. と略す) : 被験者は、験者の「用意」の指示から反応動作開始時までの間を呼息状態で構えて反応動作を行う。
- ③ 吸息条件 (Inspiratory Phase : Ins. と略す) : 被験者は、験者の「用意」の指示から反応動作開始時までの間を吸息状態で構えて反応動作を行う。

また、光刺激の呈示間隔は、3条件とも験者「構え」の指示5秒後(以下5秒刺激と略す)・10秒後(以下10秒刺激と略す)・15秒後(以下15秒刺激と略す)の3種類についてランダムに呈示した。なお、反応動作の測定中は、験者が刺激を呈示する際、被験者の身体が完全に制止した状態であるかどうかを常に確認した。反応時間の測定は、

* 三重大学教育学部

** 大山田中学校

*** 鈴鹿高等専門学校

各呼条件でそれぞれ12試行、合計36試行を実施し、各光刺激の呈示時間は、疲労を配慮し40秒に1回の頻度で実施した。

筋電図は、左脚の内側広筋と腹直筋の中央位置に筋線維に沿って、3 cm の電極間距離をとる表面双極導出法により記録した。フォースプレートから出力された力曲線（垂直分力）は、光刺激・筋電図と同時に多用途計測記録装置（日本光電製）を介して、サンプリング周波数 2 KHz でパーソナルコンピュータで記録し、Hyper Wave で解析をした。分析は、全身反応時間（光刺激から足が離床するまでの時間；Whole Body Reaction Time）・内側広筋と腹直筋の筋放電開始時間（光刺激から筋放電開始までの時間；Electromyography Reaction Time）・EMD（内側広筋の筋放電開始から床反力の立ち上がり開始までの時間；Electro-Mechanical Delay）・動作時間（床反力曲線の立ち上がり開始から足が離床するまでの時間；Movement Time）とした（図1）。

測定値は、計測した12試行分の中から全身反応時間の最小値と最大値の2つの値を取り除いた10試行

について平均値を求め、これを個人値とした。条件間の比較については t 検定を用いて統計処理した。

実験結果

1. 全身反応時間

ほとんどの被験者の全身反応時間は、いずれの刺激呈示時間においても止息条件・呼息条件・吸息条件の順に遅延する傾向を示した。

5秒刺激における全身反応時間の平均値は、止息条件が 395 ± 48.1 ms、呼息条件が 406 ± 47.9 ms、吸息条件が 414 ± 37.3 ms であり、止息条件と吸息条件の間に5%水準の有意な差が認められた（図2）。

10秒刺激の平均値は、止息条件が 376 ± 44.5 ms、呼息条件が 386 ± 52.2 ms、吸息条件が 401 ± 48.2 ms であり、各両条件間に有意な差は認められなかった（図2）。

15秒刺激の平均値は、止息条件が 380 ± 47.4 ms、呼息条件が 393 ± 56.4 ms、吸息条件が 412 ± 45.9 ms であり、止息条件と吸息条件の間に5%水準の有意な差は認められた（図2）。

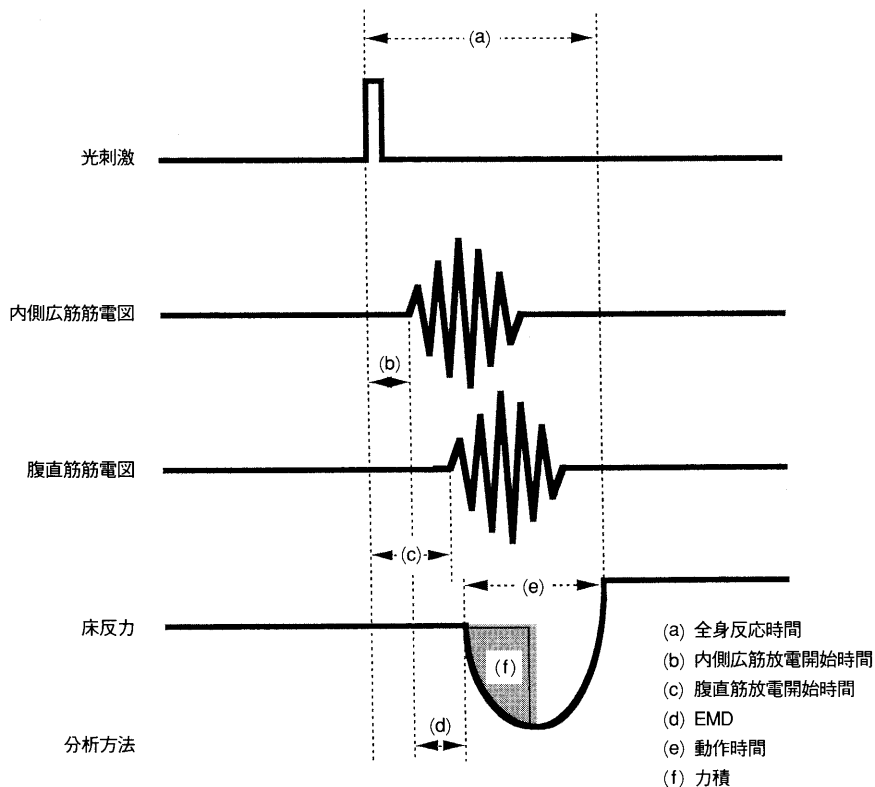


図1. 分析方法

全身反応動作に及ぼす呼吸相の影響

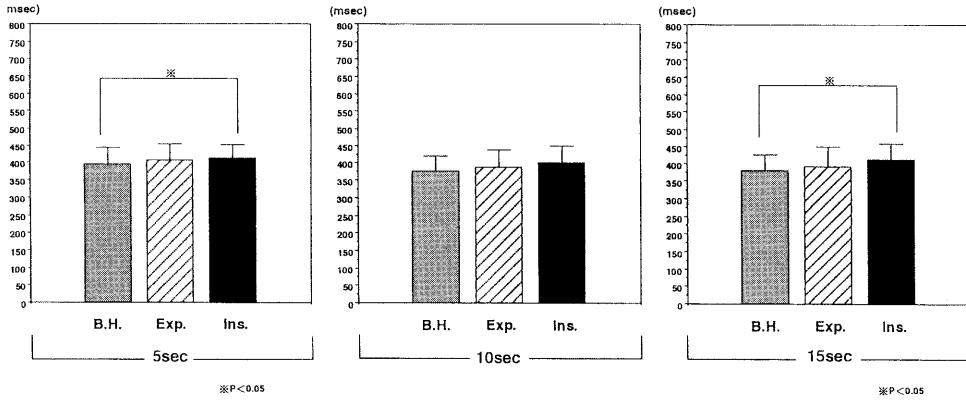


図 2. 呼吸位相における全身反応時間の比較

また、止息条件を基準とした呼息条件の相対値は 5 秒刺激・10秒刺激・15秒刺激ともに103%であり、吸息条件の相対値はそれぞれ105%・107%・108%であった。なお、各呼吸条件における全身反応時間には、5 秒・10秒・15秒の刺激呈示時間の間に有意な差は認められなかった。

2. 内側広筋の放電開始時間

ほとんどの被験者の内側広筋の放電開始時間は、いずれの刺激呈示時間においても止息条件・呼息条件・吸息条件の順に遅延する傾向を示した(図 3-A~C)。

5 秒刺激における内側広筋の放電開始時間の平均値は、止息条件が 165 ± 19.3 ms、呼息条件が 173 ± 22.7 ms、吸息条件が 196 ± 28.0 ms であり、止息条件に比較して呼息条件と吸息条件との間に、それぞれ0.5%水準と0.1%水準、呼息条件と吸息条件との間に0.1%水準の有意な差が認められた(図 4)。

10秒刺激の平均値は、止息条件が 156 ± 23.7 ms、呼息条件が 160 ± 27.7 ms、吸息条件が 186 ± 33.0 ms であり、止息条件に比較して呼息条件と吸息条件の間にそれぞれ 5%水準と0.5%水準の有意な差が認められ、呼息条件と吸息条件の間に0.5%水準

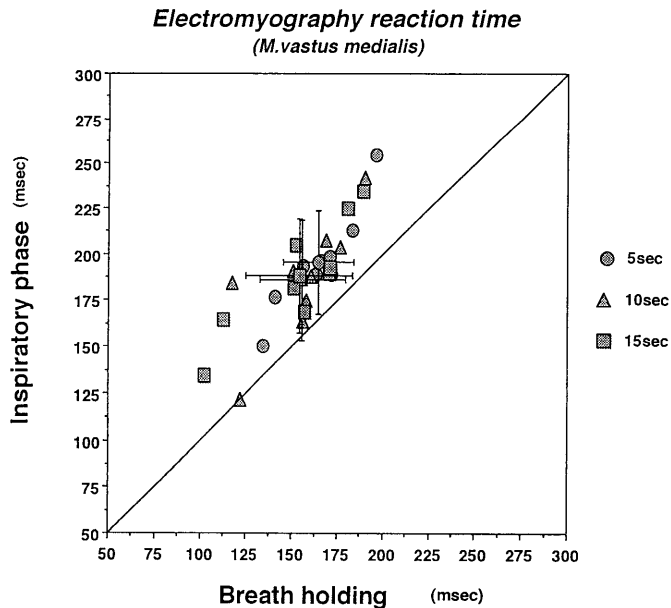


図 3-A. 吸息条件と止息条件による内側広筋筋放電開始時間の比較

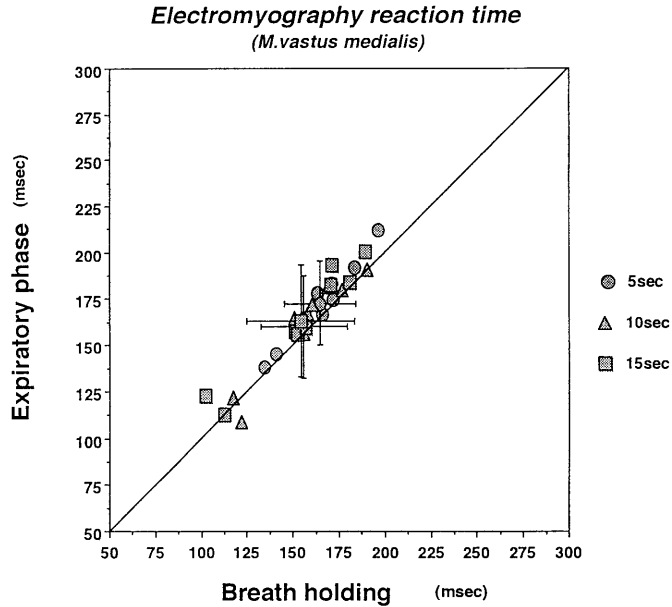


図3-B. 止息条件と吸息条件による内側広筋筋放電開始時間の比較

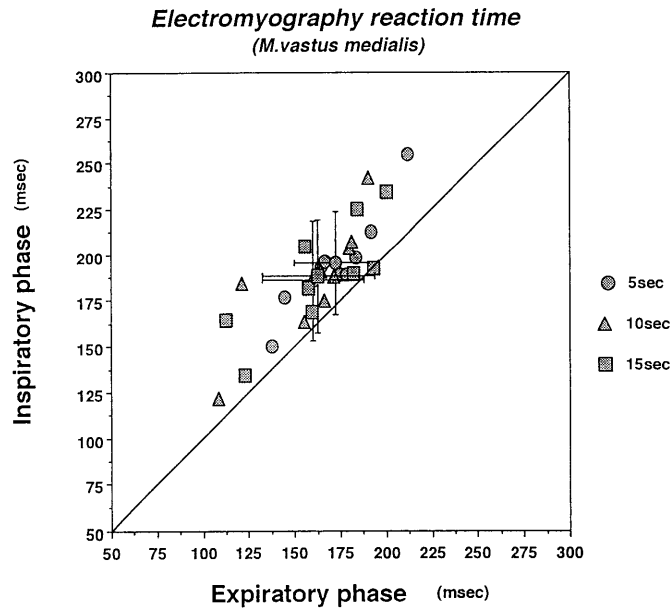


図3-C. 呼息条件と吸息条件による内側広筋筋放電開始時間の比較

の有意な差が認められた (図4)。

15秒刺激の平均値は、止息条件が 154 ± 29.5 ms、呼息条件が 163 ± 30.3 ms、吸息条件が 188 ± 31.0 msであり、止息条件に比較して呼息条件と吸息条件の間に、それぞれ1%水準と0.1%水準の有意な

差が認められ、呼息条件と吸息条件の間には0.5%水準の有意な差が認められた (図4)。

また、止息条件を基準とした呼息条件の相対値は、5秒刺激が105%・10秒刺激が103%・15秒刺激が106%であり、吸息条件の相対値はそれぞれ

全身反応動作に及ぼす呼吸相の影響

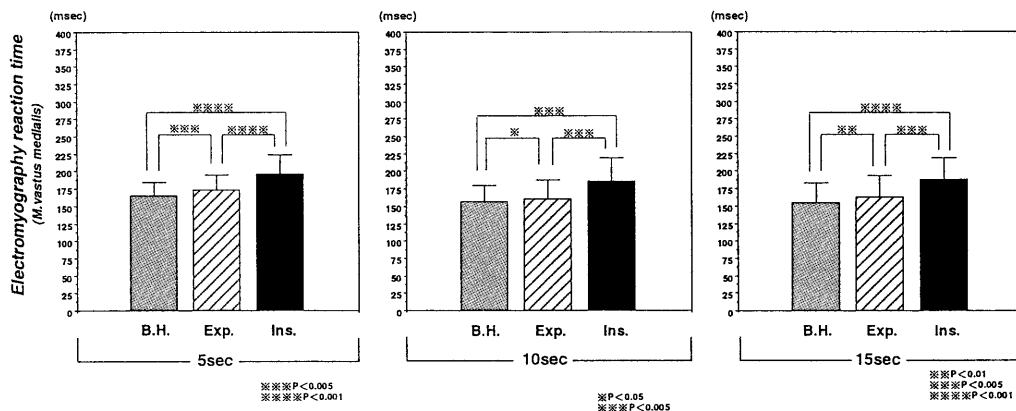


図4. 呼吸位相における内側広筋筋放電開始時間の比較

119%・119%・122%あった。なお、各呼吸条件における内側広筋の筋放電開始時間には、5秒・10秒・15秒の刺激呈示時間の間に有意な差は認められなかった。

3. 腹直筋の放電開始時間

ほとんどの被験者の腹直筋の放電開始時間は、いずれの刺激呈示時間においても止息条件・呼息条件・吸息条件の順に遅延する傾向を示した(図5-A~C)。

5秒刺激における腹直筋の放電開始時間の平均

値は、止息条件が 218 ± 46.7 ms、呼息条件が 224 ± 37.8 ms、吸息条件が 248 ± 41.3 msであり、止息条件と吸息条件の間に0.5%水準の有意な差が認められ、呼息条件と吸息条件の間に1%水準の有意な差が認められた(図6)。

10秒刺激の平均値は、止息条件が 198 ± 38.9 ms、呼息条件が 203 ± 44.9 ms、吸息条件が 233 ± 45.2 msであり、止息条件と吸息条件の間に0.5%水準の有意な差が認められ、呼息条件と吸息条件の間に5%水準の有意な差が認められた(図6)。

15秒刺激の平均値は、止息条件が 197 ± 43.6 ms、

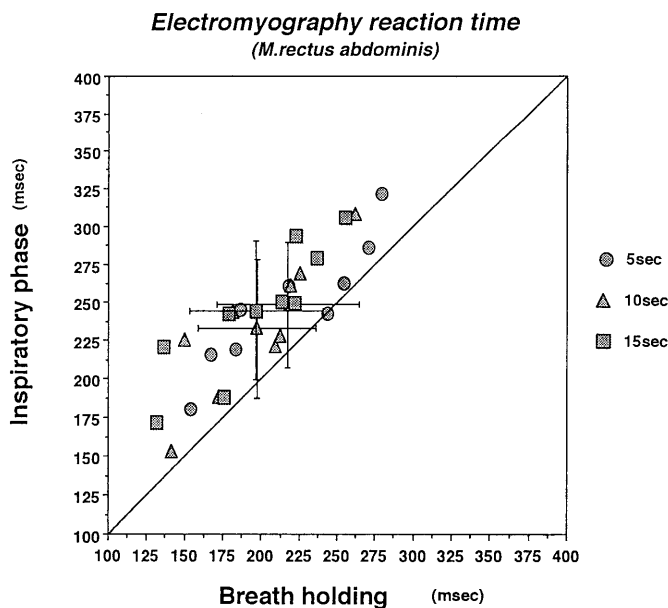


図5-A. 吸息条件と止息条件による腹直筋筋放電開始時間の比較

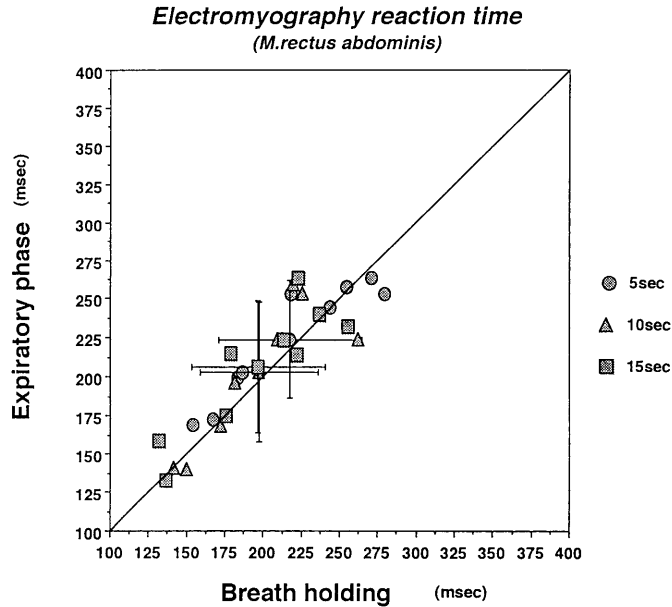


図5 - B. 止息条件と呼息条件による腹直筋筋放電開始時間の比較

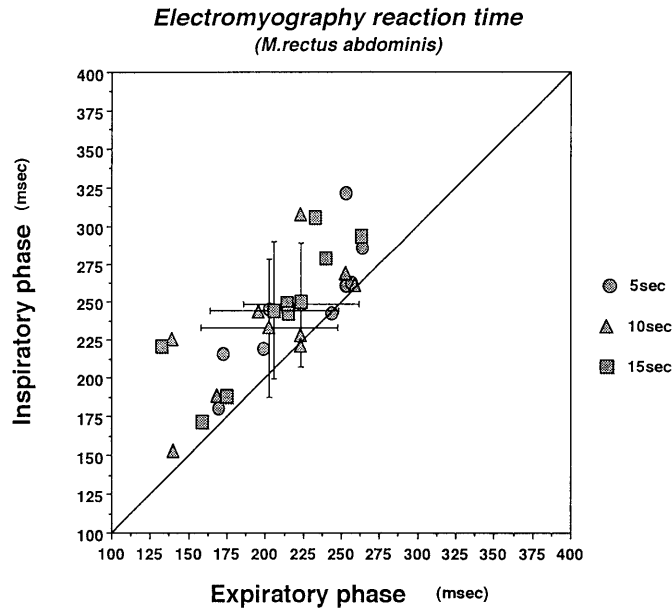


図5 - C. 呼息条件と吸息条件による腹直筋筋放電開始時間の比較

呼息条件が 206 ± 42.1 ms、吸息条件が 245 ± 45.3 msであり、止息条件と吸息条件の間に0.1%水準の有意な差が認められ、呼息条件と吸息条件の間には0.5%水準の有意な差が認められた(図6)。また、止息条件を基準とした呼息条件の相対値

は、5秒刺激と10秒刺激が103%・15秒刺激105%であり、吸息条件の相対値はそれぞれ114%・118%・124%あった。なお、各呼息条件における腹直筋の筋放電開始時間には、5秒・10秒・15秒の刺激呈示時間の間に有意な差は認められなかった。

全身反応動作に及ぼす呼吸相の影響

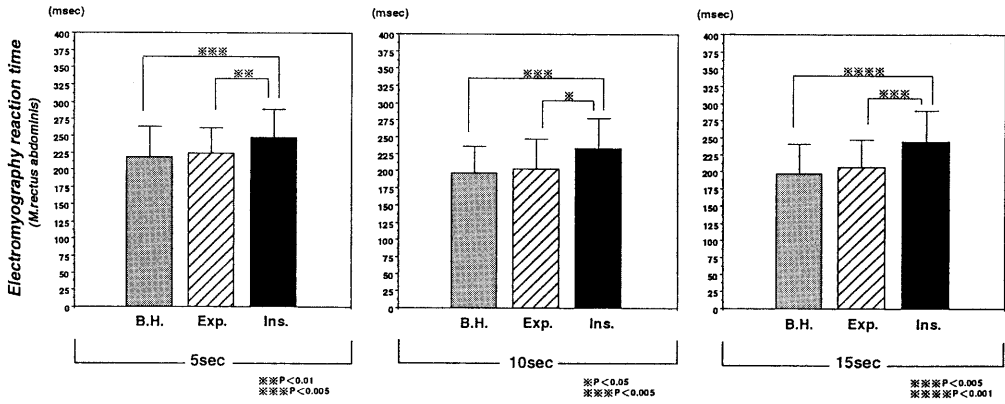


図 6. 呼吸位相における腹直筋筋放電開始時間の比較

4. EMD

各被験者の EMD は、いずれの刺激呈示時間においても呼吸条件による一定の傾向が認められなかった。

5 秒刺激における EMD の平均値は、止息条件が 34 ± 18.9 ms、呼息条件が 31 ± 12.6 ms、吸息条件が 22 ± 8.2 ms であり、各条件間に有意な差は認められなかった (図 7)。

10 秒刺激の平均値は、止息条件が 28 ± 13.5 ms、呼息条件が 26 ± 10.1 ms、吸息条件が 21 ± 9.8 ms であり、各条件間に有意な差は認められなかった (図 7)。

15 秒刺激の平均値は、止息条件が 26 ± 10.4 ms、呼息条件が 28 ± 15.6 ms、吸息条件が 21 ± 8.2 ms であり、各条件間に有意な差は認められなかった (図 7)。

また、止息条件を基準とした呼息条件の相対値は、5 秒刺激が 91%・10 秒刺激が 93%・15 秒刺激 108% であり、吸息条件の相対値はそれぞれ 65%・

75%・81% であった。なお、各呼吸条件における EMD には、5 秒・10 秒・15 秒の刺激呈示時間の間に有意な差は認められなかった。

5. 動作時間

各被験者の動作時間は、いずれの刺激呈示時間においても呼吸条件による一定の傾向が認められなかった。

5 秒刺激呈示における動作時間の平均値は、止息条件が 193 ± 18.3 ms、呼息条件が 198 ± 25.3 ms、吸息条件が 196 ± 21.2 ms であり、各条件間に有意な差は認められなかった (図 8)。

10 秒刺激の平均値は、止息条件が 194 ± 19.6 ms、呼息条件が 200 ± 26.9 ms、吸息条件が 196 ± 25.3 ms であり、各条件間に有意な差は認められなかった (図 8)。

15 秒刺激の平均値は、止息条件が 199 ± 19.5 ms、呼息条件が 202 ± 29.0 ms、吸息条件が 200 ± 24.0 ms であり、各条件間に有意な差は認められなかつ

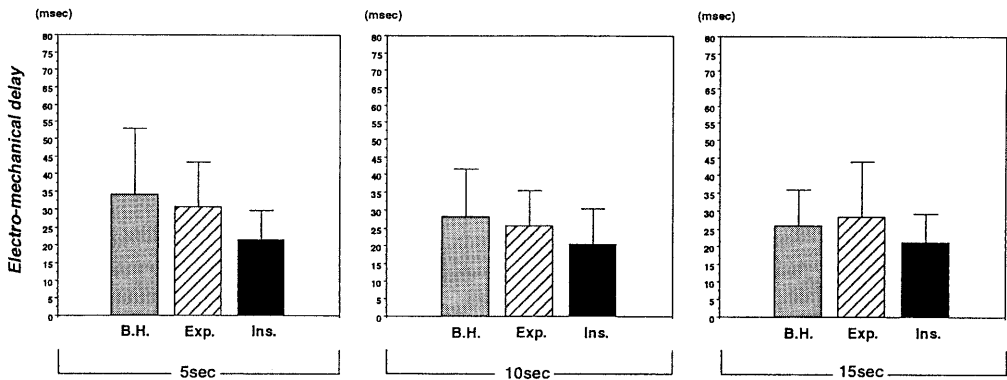


図 7. 呼吸位相における EMD の比較

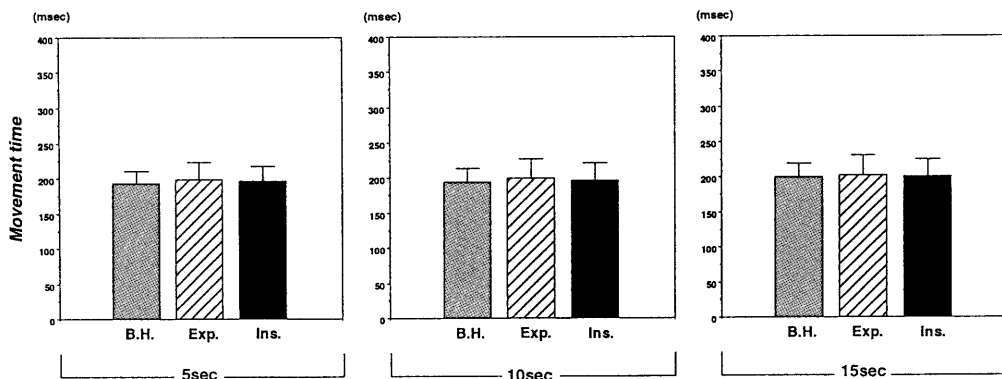


図 8. 呼吸位相における動作時間の比較

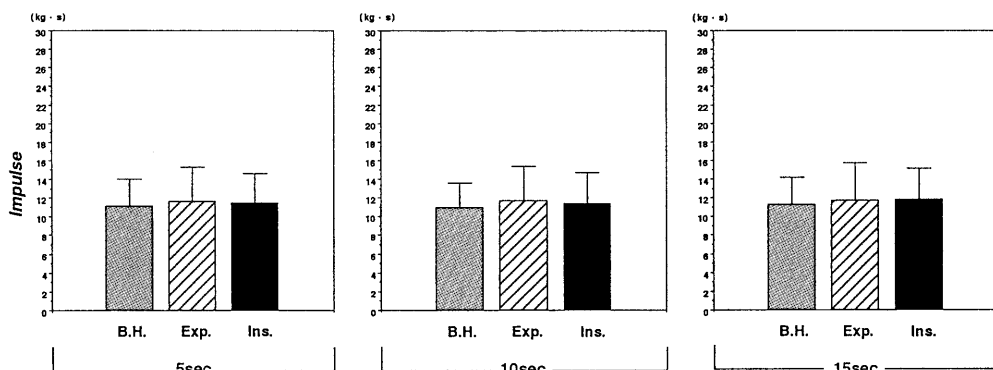


図 9. 呼吸位相における力積の比較

た (図 8)。

また、止息条件を基準とした呼息条件の相対値は、5秒刺激と10秒刺激が103%・15秒刺激102%であり、吸息条件の相対値はそれぞれ102%・101%・101%あった。なお、各呼吸条件における動作時間には、5秒・10秒・15秒の刺激呈示時間の間に有意な差は認められなかった。

6. 力 積

各被験者の力積は、いずれの刺激呈示時間においても呼吸条件による一定の傾向が認められなかった。

5秒刺激における力積の平均値は、止息条件が11.1±2.95 kg.s、呼息条件が11.6±3.70 kg.s、吸息条件が11.4±3.20 kg.sであり、各条件間に有意な差は認められなかった (図 9)。

10秒刺激の平均値は、止息条件が10.9±2.76 kg.s、呼息条件が11.7±3.64 kg.s、吸息条件が11.4±3.33 kg.sであり、各条件間に有意な差は認められなかった (図 9)。

15秒刺激の平均値は、止息条件が11.2±2.96 kg.s、呼息条件が11.7±4.06 kg.s、吸息条件が11.8±3.38 kg.sであり、各条件間に有意な差は認められなかった (図 9)。

また、止息条件を基準とした呼息条件の相対値は、5秒刺激が105%・10秒刺激が107%・15秒刺激104%であり、吸息条件の相対値はそれぞれ104%・105%・105%あった。なお、各呼吸条件における力積には、5秒・10秒・15秒の刺激呈示時間の間に有意な差は認められなかった。

論 議

福士ら¹⁾は、刺激提示間隔が反応時間にどのように影響を与えるかを陸上競技の熟練者と非熟練者について検討し、両者ともに刺激提示までの時間が長くなるほど反応時間が遅延することを報告している。しかし、本実験での刺激呈示間隔による比較ではいずれの呼吸条件においても一定の傾向が認められず、5秒・10秒・15秒の刺激呈示間隔間に有意な差は認められなかった。これは、本

実験での刺激呈示間隔が15秒までの範囲であり、刺激呈示間隔が約30秒までを用いたの福士ら¹⁾の報告より短時間であり、刺激呈示間隔間の影響が顕著に出現しなかったものと考えられる。従って、呼吸条件間の比較については、刺激呈示間隔10秒で行った全身反応時間の値を中心とした論議を進めることにする。

猪飼ら³⁾は、これまでに一般男子の全身反応時間の平均値が 365 ± 39 ms・中級選手の平均値が 308 ± 35 ms・一流選手の平均値が 324 ± 42 ms・日本短距離選手が 283 ms であることを報告している。本実験では、10秒刺激における止息条件が 376 ± 45 ms、呼息条件が 386 ± 52 ms、吸息条件が 400 ± 48 ms であった。これらの値は、被験者が全員運動部に所属していたにも関わらず、猪飼らの実験結果における一般男子の平均値より遅延した傾向にあった。これについては、本実験では被験者に意図的な呼吸制御を付加した反応動作を行わせていることから、呼吸を制御することと反応動作の両方に注意が分散したことに起因しているものと考えられる。また、斉藤ら⁶⁾は、自然な呼吸中における全身反応時間を比較し、吸気相の全身反応時間の平均値が 440 ± 90 ms・呼気相の平均値は 419 ± 89 ms であり、吸気相に比較して呼気相の全身反応時間が有意に短縮したことを報告している。本実験の全身反応時間は、吸気相に比較して呼気相の全身反応時間が有意に短縮し、斉藤ら⁶⁾報告と同様にの結果を得たが、その値については本実験結果が短縮する傾向を示した。このことに関して、北川⁵⁾は、肥満者の反応時間について分析し、神経系の伝導時間に相当する動作開始時間は非肥満者との間に差が認められないが、筋の機能を反映する動作時間については肥満者が有意に延長することから、体脂肪の物理的負荷が動作時間を延長させることになると結論づけている。したがって、斉藤ら⁶⁾の報告が本実験に比較して遅延した要因は、男女による体脂肪の差異が全身反応時間に影響を与えたものと考えられる。本実験における止息条件の全身反応時間は、吸息条件と比較して5秒刺激呈示が 19 ms、15秒刺激呈示が 32 ms の有意な短縮を示した。そこで、全身反応時間については、筋放電開始時間・EMD・動作時間の3項目に分類して検討した。

反応動作における主動筋の筋放電開始時間に関して、Tuttle⁷⁾らは短距離選手の方が中距離選手と比較して筋放電開始時間が短縮することを報告

し、その違いは、筋力・持久力のトレーニングの違いによると述べている。また、与那ら⁸⁾は、筋力トレーニングによる筋放電開始時間の短縮について、反応動作を指令する中枢機構が、筋力トレーニングによる刺激で最短の情報処理機構を作り出すと同時に、脊髄の運動ニューロンの素早い興奮性を促していると考えしている。

さらに、斉藤ら⁶⁾は自然な呼吸での全身反応時間を比較し、吸気相の筋放電開始時間の平均値が 231 ± 63 ms・呼気相の平均値は 207 ± 66 ms であり、吸気相に比較して呼気相の筋放電開始時間が約 24 ms 短縮し、両者に有意な差が認められたことを報告している。本実験では、意図的な呼吸制御を行わせた全身反応時間に関する実験を目的としたため呼息・吸息条件の2条件の他に止息条件を加えて検討した。本実験の内側広筋の筋放電開始時間の平均値は、10秒刺激呈示における止息条件が 156 ± 24 ms、呼息条件が 160 ± 28 ms、吸息条件が 186 ± 33 ms であり、呼息条件は吸息条件に比較して約 26 ms の有意な短縮を示し、斉藤らの実験結果と同様の結果を得た。また、止息条件は、呼息条件と比較して約 4 ms の有意な短縮を示した。これにより、筋放電開始時間は止息・呼息・吸息条件の順に遅延するものと考えられる。また、呼吸条件による筋放電開始時間の遅延については、呼吸相が交感神経や副交感神経に影響することが報告されており、このような呼吸制御が大脳内での情報処理時間などを変化させるメカニズムについて、さらに詳細な検討を加えることが重要と考えられる。

筋放電開始時間については、一般的に主動筋を対象とするものが多い。本実験では、呼吸相が動作における主動筋以外の筋にどのような影響を与えるかを検討するため、内側広筋以外に体幹の腹直筋の筋放電開始時間を計測した。腹直筋放電開始時間は、どの刺激呈示間隔においても止息条件・呼息条件の平均値が、吸息条件と比較してそれぞれ有意な短縮を示し、止息条件と呼息条件の間には有意な差は認められなかった。この呼吸条件間の関係については、内側広筋の放電開始時間と同様の結果である。腹直筋放電開始時間は、内側広筋放電開始時間に比較して、止息条件が 42~53 ms、呼息条件が 42~43 ms、吸息条件が 47~56 ms であり、いずれの条件とも腹直筋放電開始時間が内側広筋放電開始時間に比較して約 50 ms 遅延する傾向にある。これらの結果から、多数の

筋群が参加する全身反応動作では、それぞれの筋活動の時間配列は異なり、動作の主動筋となる脚伸筋群から活動を開始し、続いて体幹部の筋群が参加することを示唆している。

EMD に関して与那⁸⁾ は、8 週間にわたる筋力トレーニングにおいて EMD が有意に短縮し、トレーニング負荷が大きい群ほど大きく短縮すると報告している。本実験では、止息条件が 28 ± 14 ms、吸息条件が 21 ± 10 ms、呼息条件が 26 ± 10 ms であり、止息条件に比較して吸息条件・呼息条件が短縮する傾向にあったが、3 条件間には有意な差が認められなかった。これについては、本実験が一時的な呼吸による変化を検討したものであり、先の報告にみられるように8週間にわたる筋力トレーニングのような長期的な変化を観察したものではなく、本実験では EMD に影響を及ぼさなかったものと考えられる。

動作時間は、床反力が発生してから脚が離床するまでの時間であり、筋の収縮機能を示すものである。斉藤⁶⁾ は、自然な呼吸での全身反応時間を比較し、吸気相の動作時間の平均値が 137 ± 16 ms・呼気相の平均値は 136 ± 18 ms であり両者に有意な差は認められなかったことを報告している。本実験では、止息条件が 194 ± 20 ms、吸息条件が 196 ± 25 ms、呼息条件が 200 ± 27 ms であり、呼吸条件間に有意な差が認められず、これまでの報告と一致した結果を得た。これらの結果は、呼吸相が動作時間に影響しておらず、呼吸相による一時的な全身反応時間の短縮は、主に筋放電開始時間の短縮によるものであることを示唆している。

林²⁾ は、全身反応時間における自発的かけ声の効果について検討し、かけ声出した時の力積・平均発揮筋力が、かけ声出さなかった時に比較して増加する傾向にあると報告している。しかし、本実験における力積は、呼吸条件間に有意な差が認められなかった。これについては、本実験の課題が光刺激に対してできるだけ素早い跳躍動作を行うものであり、最大筋力を発揮させる動作ではなかったことがその要因として考えられるとともに、反応動作時における呼吸制御が跳躍動作の床反力に影響を与えないことを示唆している。

以上のことから本研究結果は、意図的な呼吸制御が筋放電開始時間に作用し、止息・呼息・吸息条件の順に筋放電開始時間を遅延させるが、EMD・動作時間・力積には影響を与えないことが示唆された。

要 約

本研究は、全身反応動作に及ぼす意図的な呼吸調節の影響について観察するとともに、検者の合図後の刺激呈示間隔（5秒・10秒・15秒）の影響についても検討した。その結果、内側広筋の筋放電開始時間は、止息条件・呼息条件・吸息条件の順に遅延し、呼吸3条件間でそれぞれ有意な差が認められた。しかし、EMD・動作時間および力積については、呼吸条件間に一定の傾向が認められず、各条件間に有意な差は認められなかった。このことは、呼吸相を制御することによって、筋放電開始時間が変化し、このことが全身反応時間に影響を及ぼすことを示唆している。また、腹直筋の筋放電開始時間は、いずれの呼吸条件においても内側広筋の筋放電開始時間に比較して約 50 ms 遅延した値であり、全身反応動作においては脚筋が始動してから体幹部の筋が連動して作用することが明らかとなった。さらに、刺激呈示間隔による全身反応時間への影響については、いずれの呼吸条件においても有意な差が認められなかったが、これは15秒と比較的短時間内の差異を比較したものであり、時間間隔についてはさらに時間を延長して検討する必要があるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 福士珠美：陸上競技の経験の有無が聴覚刺激に対する等尺性伸展力発揮に及ぼす影響の違いについて 東海体育学会第42回大会抄録、1994.
- 2) 林 和哉：自発的「かけ声」が反応動作時の中枢神経系に及ぼす影響。三重大学大学院教育学研究科修士論文、1996.
- 3) 猪飼道夫、浅見高明、芝山秀太郎：全身反応時間とその応用、*Olympia* 7, 210-219, 1961.
- 4) 岩崎健一、谷口絃八、庭木守彦、猿渡輝男：筋力・調整力発揮と呼吸相の関連について、熊本大学教養部紀要 自然科学編15号 37-45, 1980.
- 5) 北川 薫：肥満者の脂肪量と体力、杏林書院 76-81, 1984.
- 6) 斉藤 満、橋本 勲：全身反応時間に及ぼす呼吸相の影響、*東海保健体育科学* 17, 29-34, 1995.
- 7) Westerlund, J. H. and W. W, Tuttle: Relationship between running events in track and reaction time. *ResQuat*, 2, 95-100, 1931.
- 8) 与那正栄、室 増男、下敷領光一、永田 晟：筋力トレーニングに伴う反応時間の変化。体力科学 39, 307-314, 1990.