

スポーツウェアによる身体圧迫が 随意反応時間に及ぼす影響

奈良女子大学 大 築 立 志

(共同研究者) 同 金 熙 恩

同 登 倉 尋 實

Effects of Pressure Applied to the Body by Sportswear upon Voluntary Reaction Time

by

Tatsuyuki Ohtsuki, Hee-Eun Kim, Hiromi Tokura
Nara Women's University

ABSTRACT

Normal healthy female subjects wearing a pressure sportswear were ordered to perform a key-pressing simple reaction time task in response to visual stimulus.

Following results were obtained :

1) Reaction time measured as a latency from stimulus to the closure of key switch was longer in a pressure wear than in a non-pressure wear.

2) This increase of reaction time was due to an increase of premotor time (latency of EMG onset), and not due to electromechanical delay (time lag from EMG onset to key closure).

3) These results suggest that a pressure applied to the whole body reduces the speed of information processing in the central nervous system and, as a result, delays the onset of voluntary reaction to the stimulus.

要 旨

健康な成人女子を被験者とし、頭部、手、足を除く身体全体を包む、圧迫性スポーツウェアおよび非圧迫性ウェアを着用させ、光刺激に対する電鍵押し単純反応時間を測定した結果、つぎのような知見が得られた。

1. 着衣交換後 20 分経過した後では、刺激から電鍵が ON になるまでの時間として計測した反応時間 (RT) は、圧迫性ウェアの着用によって有意に延長した。

2. 反応時間を構成する 2 相のうち、刺激から筋電図発現までの時間 (PMT) は RT 同様、圧迫性ウェア着用後 20 分経過後に延長する傾向を示したが、筋電図発現から電鍵 ON までの時間 (EMD) には着衣条件による差は見られなかった。

3. 以上の結果から、全身の圧迫は中枢神経系における情報処理速度を低下させることによって、刺激に対する反応の開始を遅らせることが明らかとなった。

緒 言

衣服着用によって生じる身体の拘束は、人間の身体運動の遂行に対してさまざまな影響を与える可能性がある。たとえば、女性用ファンデーションによる強度の身体圧迫は、不快感を増し、衣服内気候を悪化させ、単純軽作業の能率を低下させるという報告がある^{3,4)}。一方、衣服による適度な身体の圧迫は、作業能率を改善し、疲労を軽減するという報告もある^{4,5,6,7)}。最近丸田らは、全身をぴったりと被うスポーツウェア (スピードスケート用のユニフォームなど) を着用すると、光刺激に対する全身反応動作の開始が遅くなることを報告している⁹⁾。

刺激が呈示されてから反応動作が発現するまでの時間は一般に「反応時間 (reaction time)」と

呼ばれている。この言葉は、とくにヒューマンライフサイエンスの分野においては、普通、人間が意識的に刺激を確認し、判断したのち、自分の意志に基づいて反応動作をおこす場合について用いられている。このような反応動作は、意志に基づいて意識的に開始されるという意味で、生理学的に言えば、随意運動に属するものである。したがって正しくは、意志の関与なしに発現する不随意的動作である反射や病的動作と区別するために、「随意反応時間」と呼ぶべきものである。本研究における反応時間は、すべて随意反応時間を意味している。

随意反応時間は、脳内情報処理速度の指標である筋放電開始潜時 (premotor time=PMT)、および筋収縮速度の指標である抵抗克服時間 (motor time または EMD=electromechanical delay) という二つの時間相に分けることができる。本研究は、圧迫性の強いスポーツウェアの着用が随意反応時間に及ぼす影響を、反応時間を構成する二要素のそれぞれに対する影響という観点から明らかにしようとするものである。

1. 研究方法

本実験で用いた反応時間課題は、赤色 LED の発光を刺激として、できるだけ早く右手で電鍵 (telegraph key) を押すという単純反応時間課題である。0.3 秒のブザー音による予告信号の後、2, 3, 4 秒の予告期間 (foreperiod) をおいて LED が 0.1 秒間点灯する。予告期間はランダム順に与えた。被験者が課題に集中できるように、室内灯を消して薄暗くし、被験者の視野よりもやや広い範囲に黒い暗幕を張って、暗幕にあけた小穴から LED の発光面だけを出し、黒一色の中に赤い光点があらわれるようにした。

被験者は別室で最低 20 分間椅座位安静を保ったのち、実験用のプレッシャースーツと同じ色と形で、圧迫のない服 (ブランクスーツ) を着用し

て実験室に入る。実験用椅子に座って10分間安静を保った後、上述の反応時間課題を15試行を1セットとして3セット、計45試行連続して行う(条件0)。45試行の所要時間は約15分である。その後、直ちに実験用のプレッシャースーツに着替えて、10分間安静を保ってから45試行を同様に実施し(条件1)、再びブランクスーツに着替えて10分間安静の後、同様に45試行実施する(条件2)。

本実験で用いたプレッシャースーツは、以前の実験の時に作製したミズノ社製のもので、頭、手(手首から先)、足(足首から先)を除いた全身を被うようになっている。被験者の身長、体重、胸囲(バスト)、最小寛上囲(ウエスト)、骨盤囲(ヒップ)を計測し、各被験者の体型にぴったり合っていて、被験者がややきつと感じる程度の圧迫度のものを選定して使用した。

橈側手根屈筋および橈側手根伸筋から表面筋電図を導出し、電鍵のON/OFF信号とともに、シグナルプロセッサ(日本電気三菱7T17)を用いて各試行終了ごとに記録波形をチェックしたのち、A/D処理し、主動筋である橈側手根屈筋の筋放電潜時(PMT)、筋放電開始から電鍵ONまでの時間(EMD)、動作開始潜時(RT=PMT+EMD)の自動計測を行った。なおA/D変換のサンプリング間隔は1msである。

被験者は健康な成人女子12名(年齢22~36歳、平均24.8歳、S.D. 4.72歳)。全員右手利きであった。

2. 結果

図1は記録の例を示したものである。(A)は最も一般的な例で、この例では158msで主動筋に大きな放電が発現した後、256msで電鍵がONになっている。したがってEMD(図中ではCTと表示されている)は98msである。

電鍵押し動作を反応動作とした場合、被験者の

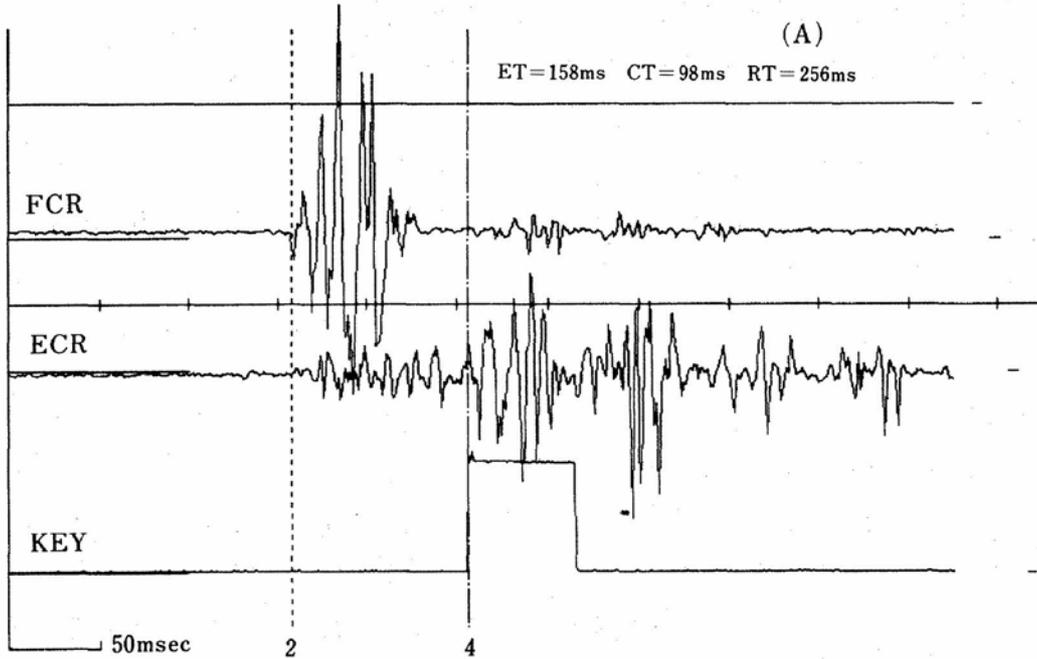
集中度が高まるにつれ、(B)に示すように拮抗筋である橈側手根伸筋に、しばしば持続性の放電があらわれることがある。これは被験者が完全にはリラックスして刺激を待っていないことを示している。この例のように、刺激呈示前から刺激呈示後にかけて、一定の弱い強度で持続していればデータとして採用したが、振幅が非常に大きい場合には不採用とし、腕の位置を変えたり、深呼吸をさせたりして緊張を解きほぐして再試行するようにした。

また、予告期間中はリラックスしていても刺激呈示後、主動筋の放電に先行して、拮抗筋に一過性の放電を示す被験者がおり、手首の屈曲前に反動動作としての伸展を行っていることを物語っているが、そのような被験者は、すべての試行において同様の動作を行っていたので、とくに除外しなかった。

表1は実験中に集中力を持続できず、途中で眠気を催し、実験者に何度も注意を受けた被験者3名を除く9名のPMT、EMD、RTの平均値を示したものである。これを図示したものが図2である。表1および図2からわかるように、プレッシャースーツを着用した条件である条件1のRTは、第1セットではブランクスーツを着用した条件0、条件1よりも小さいが、第2、第3セットでは逆に大きくなっている。この傾向はPMTにおいても同様である。EMDは第1セットが、第2、第3セットよりもやや大きい、条件間には差がみられない。

被験者、着衣条件を因子とした二元配置分散分析によって条件間の差を検定した結果、RTにおいては、第1セット、第2セットでは着衣条件の主効果は有意ではなかった(第1セット $F=0.936$ 、第2セット $F=1.445$)が、第3セットにおいては1%水準で有意であった($F=7.122$, $df=2, 16$, $P<0.01$)。したがって、第3セットではプレッシャースーツ着用条件におけるRTは、プ

Subj. S09 Condition 1 Set 3 Trial #4
Time Range=0-576 msec (576msec)



Subj. S12 Condition 0 Set 1 Trial #14
Time Range=0-576msec (576msec)

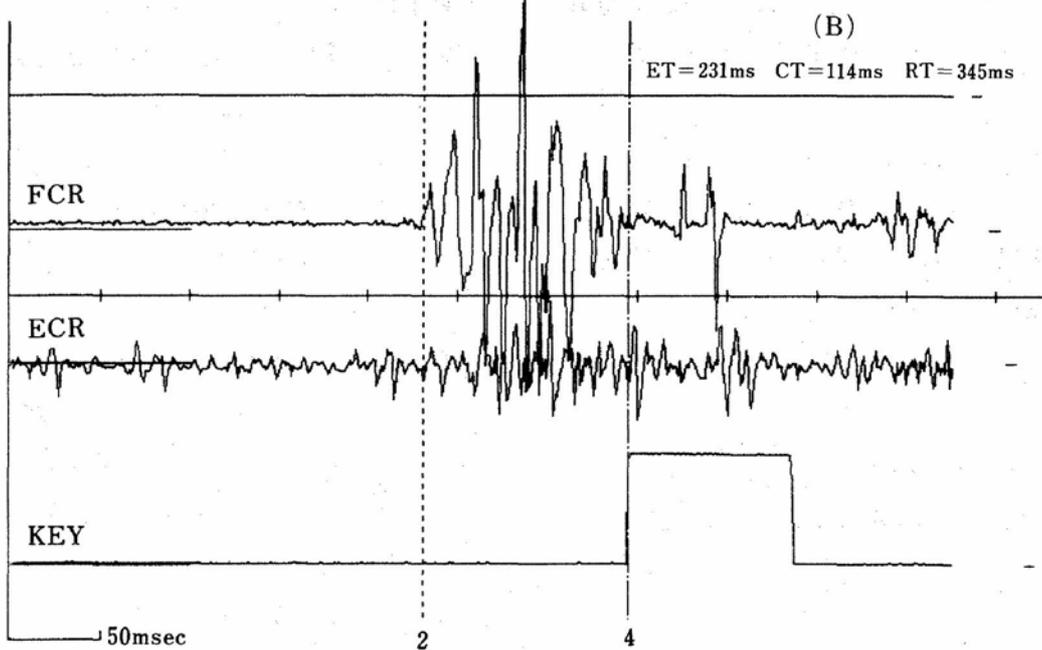


図1 記録例。上(A)は最も一般的な例、下(B)は拮抗筋に持続的放電が発現している場合の例。FCR=橈側手根屈筋筋電図、ECR=橈側手根伸筋筋電図、KEY=電鍵 ON シグナル。左端の縦実線が刺激時刻を示す。----- 2 は FCR の筋放電開始時刻、---- 4 は電鍵が ON になる時刻。ET=PET (筋放電開始潜時)、CT=EMD (外部抵抗克服時間)、RT=反応時間。

レッジャースーツ非着用条件に比べて明らかに延長していると言える。

PMT については、RT と同様、第 1 セット、第

2 セット 共着衣条件の主効果は有意ではなかった (第 1 セット $F = 0.974$, 第 2 セット $F = 0.779$)。第 3 セットではわずかに有意水準に届か

表1 PMT, EMDおよびRTのセット別, 条件別平均値 (9名の平均), (単位ms)

セット	条件	PMT	EMD	RT
1	0	197.01	136.44	334.88
	1	191.27	136.22	324.84
	2	203.77	131.20	334.93
2	0	195.97	128.82	324.83
	1	199.91	131.27	331.11
	2	191.46	129.50	321.01
3	0	189.50	129.71	319.09
	1	206.97	131.87	338.85
	2	194.00	128.58	322.59

なかったものの, きわめて有意に近い F 値が得られた ($F = 3.611, 0.1 > P \geq 0.05$; 5%水準の F 値は 3.63).

これに対して, EMD はいずれのセットにおいても有意水準にはるかに及ばず (第1セット $F = 0.312$, 第2セット $F = 0.238$, 第3セット $F = 0.155$), 条件間にまったく差はないと言える。したがって, 第3セットにおいて見られたプレッシャースーツ着用条件での RT の延長は, EMD ではなく PMT の延長によってもたらされていると考えてよいであろう。

3. 論 議

Huchingson ら¹⁾は, 潜水作業の気密服を用いて被験者の身体に圧迫を加え, 加圧条件下では, 筋力 (握力) や動作スピード (2枚の板の間の手の往復タッピング速度), パシュートロータを使った視覚追跡作業, 手先の器用さ (レンチを使ったボルトとナットの締め替え作業, ペグボード作業) などの成績が低下することを報告している。本研究で観察された第3セットにおける反応時間の増加は, 身体加圧によるパフォーマンスの低下という点で, この報告と同じ性質のものと言えよう。

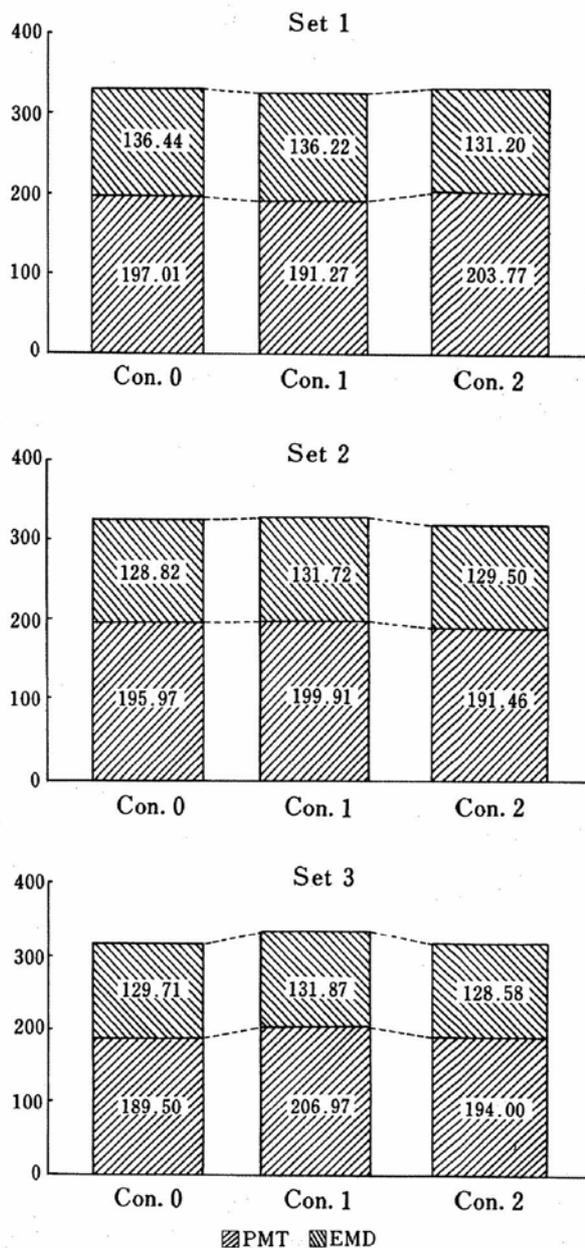


図2 9名の被験者から得られた反応時間の平均値 (単位 ms)

丸田ら⁹⁾は, きつめのスピードスケート選手用ユニフォームの着用によって, 動作開始潜時 (本研究の RT に相当する) でみた反応時間が有意に延長することを報告しているが, 本研究の結果, 動作開始潜時の増加は, EMD ではなく PMT の増加に起因していることが明らかとなった。PMT は刺激が感覚受容器に到達してから, インパルスが感覚ニューロン, 脊髄・脳幹を通過して大

脳皮質で処理され、運動指令となって再び脊髄・脳幹の運動ニューロンを経て、骨格筋に到達するまでの時間である。感覚ニューロンや運動ニューロンのインパルス伝導速度が、身体加圧によって大幅に変化しないと仮定すれば、PMTの増加は、脳内の情報処理時間の増大を意味すると考えられる。

本実験におけるEMDは、筋にインパルスが到達してから、筋力が発揮されて手首と指の屈曲がおこり、電鍵のスイッチレバーが押し下げられて、接点が接触するまでの所要時間である。電鍵のスイッチ接点は、バネの力によって開放状態を保っており、筋の発揮する力がその力を越えるとバネが伸び始め、レバーが移動を開始する。したがって、筋力が大きければレバーの移動開始は早くなる。また、フックの法則により、バネの伸びは加えられた力に比例するので、力が大きければ単位時間内の伸び量も大きくなり、一定量の伸びに要する時間、つまりレバーの移動時間は短縮するはずである。

本実験の結果、加圧によってEMDにはまったく差が見られなかった。このことは、運動指令の筋への到達は遅れても、実際に発揮される筋力には違いがないということを示している。これは、上述のHuchingsonの握力が低下するという報告と矛盾するように見える。しかし最大握力は、一般に筋力発揮開始後1秒以上経過してから得られるものであり、EMDのように、たかだか0.1秒間の初期筋力とは異なるのであろう。大きな筋力は大きなmotor unitによって発揮されること、motor unitは小さなものから大きなものへと順を追ってrecruitされる(Hennemanのsize principle)ことを考え合わせると、加圧による最大筋力の低下は大きなmotor unitのrecruitmentが抑制された結果であり、小さなmotor unitの活動は妨げられてはいないと考えてよいであろう。

このことが正しいなら、手先の作業のような繊細な動作は、手指の小筋を構成している小さなmotor unitによって遂行されているから、上述のような加圧による手先の器用さの低下は、少なくともこれらの小筋の筋力低下に起因するのではなく、それらの筋に到達する運動指令、すなわち脳における情報処理過程の乱れに起因していることになる。

皮膚に加わる機械的圧迫が、脳の情報処理過程に影響を及ぼす経路としては、触覚や圧覚受容器からの上行性経路、皮膚血管の圧迫による局所血流量の変化を契機とした、血圧受容反射などの神経性経路、あるいはもっと遅い体液性経路などが考えられる。

本実験では、反応時間の延長は第3セットのみにおいて見られた。本実験における1セット当たりの所要時間は約5分であったから、着衣変換後の10分間の安静時間を加えて、着衣変換後、少なくとも20分までは身体圧迫の効果はあらわれないことがわかる。Kawakami & Tokura⁸⁾は、気温28℃の室内において、上半身裸の状態から長袖シャツを着用して、椅座位安静を保った場合、徐々に直腸温は低下、腕と背中の皮膚温は上昇していき、着衣後20分を経過すると、一定になることを報告している。このことは、新しい環境条件へのヒトの体温調節系の順応には、少なくとも20分程度はかかることを示している。

本実験の場合は、条件0では普段着から実験用の衣服に着替え、条件1と2では、同じ材質でサイズだけが異なる実験用衣服を交換するのであるから、衣服の有無ほどの大きな温熱的環境変化が与えられているわけではない。しかし、生体が何らかの新しい環境条件に慣れるまでには、少なくとも20分は必要なのだと考えれば、本実験の場合のように、単なる着衣の交換であっても、別の衣服という新しい環境条件に十分順応し、精神的にも身体的にも安定した状態に達するまでには、

やはり 20 分程度の時間が必要であると言えるのではないだろうか。余分な精神的身体的緊張が消失し、リラックスして実験課題に集中できるようになって、初めて生体の本来持っている、生理機能が明らかにあらわれてきたのであろう。

被験者の中には、プレッシャースーツを着用した方が、やりやすかったという内省を示したものがいたが、それは皮膚への異物の接触が、触覚受容器を一過性に刺激し、大脳皮質の覚醒を引き起こしたためと考えられる。しかし、触覚受容器は、順応性が高いことが知られており²⁾、姿勢が固定された本実験のような状況では、20 分も経過すればその働きは低下してしまっていると考えられる。それに対して、圧受容器の順応性はあまり良くない²⁾ので、圧受容器からの感覚情報の効果だけがあらわれてきたとも考えられる。しかし、現在のところ、この現象の詳細な原因は明らかではない。

また、加圧といっても、人により、体型により、身体部位によって、実際に加わる圧力はさまざまに異なる。本実験では、被験者が初めて着た時にかなりきついと感じる寸法の物を着用させ、身体各部に対する実際の圧力は量的に規定はしなかった。にもかかわらず、反応時間には有意な影響がみられたことから、今後加圧の強度、持続時間、加圧部位等を、系統的に変えて実験を行えば、さらに詳細な情報が得られるであろうという展望が得られたと言えよう。この点については、今後さらに検討を加えていきたいと思っている。

謝 辞

本研究の実施に際して、多大な御協力を賜った夙川学院短期大学の丸田尚美先生に深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) Huchingson, R. D.; Effects of pressure suits on seven psychomotor skills, *Perceptual and Motor Skills*, **34**, 87-92 (1972)
- 2) 市岡正道; 感覚生理学総論, 新生理学 (上), 医学書院, 669-691 (1982)
- 3) 生田則子; ファンデーションの衛生学的研究, 第 1 報, 主観, 衣服気候および衣服圧への影響, 日衛誌, **25**, 344-349 (1970)
- 4) 生田則子; ファンデーションの衛生学的研究, 第 2 報, 生体機能および作業能率への影響, 日衛誌, **25**, 350-355 (1970)
- 5) 生田則子; ファンデーションの衛生学的研究, 第 4 報, 各種運動・動作への影響, 日衛誌, **27**, 494-499 (1973)
- 6) 生田則子, 平岡優子, 末中節子; 下腿用圧迫被服の衛生学的研究 (2) 各種運動におよぼす影響, 山口大学教育学部研究論叢, **25**, 117-124 (1975)
- 7) 生田則子; 衣服による軀幹部圧迫の影響について—筋電図を中心とする検討, 山口大学教育学部研究論叢, **26**, 117-129 (1977)
- 8) Kawakami, K., Tokura, H.; Effects of season, wearing of garments with long-sleeves and clothing wettedness on temperature of core, skin and clothing microclimate in sedentary and walking women, 家政学雑誌, **36**, 503-509 (1985)
- 9) 丸田直美, 金 熙恩, 登倉尋實; ハイサポートパントティストッキングおよびスピードスケート選手用ウェア着用による身体圧迫が光-動作反応時間に及ぼす影響, 日本繊維製品消費科学会年次大会研究発表要旨集, 88-89 (1991)