

安静立位時の暗算課題が上肢挙上の反応課題と  
先行随伴性姿勢調節に及ぼす影響

平成28年度

筑波技術大学大学院修士課程技術科学研究科

保健科学専攻

坂本 禎典

## 目次

### 第1章 序論

1-1	背景	
1-1-1	はじめに.....	1
1-1-2	姿勢調節.....	1
1-1-3	先行随伴性姿勢調節(APAs) .....	2
1-1-4	立位姿勢での右側上肢挙上における APAs の身体的変化...	4
1-1-5	デュアルタスク(二重課題) .....	6
1-1-6	デュアルタスクとバランス能力.....	6
1-1-7	デュアルタスクがパフォーマンスに及ぼす影響.....	7
1-1-8	デュアルタスクと APAs の関係性.....	8
1-2	本研究の目的.....	11
1-3	本研究の仮説.....	11

### 第2章 方法

2-1	被験者と実験概要.....	12
2-2	倫理.....	12
2-3	作業と手順	
2-3-1	測定機器・課題.....	12
2-3-2	測定条件.....	15
2-3-3	プロトコル.....	16
2-3-4	データ分析.....	16
2-3-5	統計処理.....	19

### 第3章 結果

3-1	反応課題前における安静立位姿勢.....	20
3-2	反応課題後における APAs 及び主動作.....	22
3-3	各条件内での関係性.....	25
3-4	デュアルタスク条件下での変化率における関係性.....	27

### 第4章 考察

4-1	反応課題前における安静立位姿勢.....	29
4-2	反応課題後における APAs 及び主動作.....	31

4-3	各条件内での関係性.....	32
4-4	デュアルタスク条件下での変化率における関係性.....	33
<b>第5章</b>	<b>結論.....</b>	<b>37</b>
	<b>謝辞.....</b>	<b>38</b>
	<b>参考文献.....</b>	<b>39</b>

## 用語対照表

COM	質量中心 (center of mass)
COP	足圧中心 (center of foot pressure)
AP-COP	前後方向の COP(anterior-posterior center of foot pressure)
ML-COP	左右方向の COP(medial-lateral center of foot pressure)
COP 分散	反応課題前の COP 分散
COP の位置	前後方向の COP の位置 (踵からの距離／足長×100)
APAs	先行随伴性姿勢調節 (anticipatory postural adjustments)
Tz	垂直方向トルク(vertical torque)
C 条件	コントロール条件(安静立位)
S 条件	シングルタスク条件(安静立位＋反応課題)
D 条件	デュアルタスク条件(安静立位＋反応課題＋暗算課題)

# 筑波技術大学

## 修士（理学療法学）学位論文

## 第1章 序論

### 1-1 背景

#### 1-1-1 はじめに

臨床の中で、理学療法士が患者に対しバランス練習を実施する場面はよくみられる。西口らは、日常生活環境は非常に多くの課題に包囲された複数課題環境であると述べており<sup>1)</sup>、実際立位にて諸動作を行う際、人は動作を行いながら、それ以外のことを考えている場面が多くある。

ある種のデュアルタスク(二重課題)を実施することで、バランス能力のパフォーマンスが向上することは知られているが、予測的な姿勢の調節とデュアルタスクとの関係性についての報告は少ない。

そこで本研究では、立位時におけるデュアルタスクが無意識で予測的にバランスを崩さないようにしている時の姿勢調節の影響を検証し、将来、立位時におけるバランス練習をする上での理学療法的アプローチの知見の援助に繋げたいと考えた。

#### 1-1-2 姿勢調節

バランスは、人が二足の立位・歩行を行う上で重要な役割を担う。このバランスを保つための姿勢調節は、人が日常生活を送る上で重要な機能を果たしている。Sherrington は「posture follows movement like a shadow (姿勢は運動の影のように追従する)」と表現し、運動と姿勢の調節は表裏一体の関係にあることが強調されている<sup>2)</sup>。

質量中心(以下:COM)とは、物体や身体の質量が均等に分布する点であり、人体の重心は、人の第2仙椎の直前にある。一方、足圧中心(以下:COP)とは、支持基底面内の合成された床反力の作用点の位置であり、自ら動かすことができるもので、重心を安定させるためにCOPが移動する。姿勢調節は、COMが支持基底面に投射されたCOPによって表現できる。つまり、転倒せずに姿勢を保持するということは、COMとCOPの関係より、支持基底面の範囲内にCOPが必ず存在しているということを意味している<sup>3)</sup>。

運動を行うには、発生するCOMの変動を制御し、維持するための姿勢調節機能が必要である。特に随意運動は一般的にCOMが移動すると、姿勢の崩れを引き起こすとされ、この変動を修正するために中枢神経系は2つの姿勢調節機能を働かせる<sup>3)</sup>。

1つは、フィードフォワード機能と呼ばれ、随意的な運動が起こる直前か同時にみられる姿勢調整機能である。運動による姿勢の崩れを、予め最小限にするために調節されるもので、実際の運動が起こる前に、計画し調節される。この姿勢調節機能は、ある運動を行う際、その運動と類似した以前の経験に基づく中枢神経系のパターンで起動するといわれている。

もう 1 つは、フィードバック機能と呼ばれ、随意的な運動あるいは外乱刺激に対しての運動が、実際に起こってからみられる姿勢調節機能である。実際の運動で起こった姿勢の崩れを修正するために調節されるもので、視覚系や前庭系、体性感覚系からの感覚入力に関与しているといわれている<sup>4)</sup>。予期せぬ外乱刺激に対しての運動の場合、COM と COP の移動は運動後に大きくなることから、フィードフォワード機能はみられず、その場合、フィードバック機能は大きく出現するといわれている<sup>5)</sup>。

これらの機能は、生後から経験的に得られるものと、本能的に備わっているものとがあるが、経験的に得られたものでも、本能的に備わっているものと総合され機能する場合もある。

### 1-1-3 先行随伴性姿勢調節(APAs)

前述したフィードフォワード機能とは、先行随伴性姿勢調節(以下: APAs)といわれている。APAs は、随意運動によって生じるであろう重心動揺を予測して抑制しようとする、補償的な姿勢調節のことである<sup>6) 7)</sup>。この姿勢調節は、上位中枢からの指示によるものと考えられ、生得的な反射ではなく、フィードフォワード的に過去の体験記憶に基づいたもので、予測性姿勢調節とも呼ばれている<sup>8) 9)</sup>。

APAs は、以下のような研究によって数多く報告されてきた<sup>7)</sup>。例えば、上肢挙上運動<sup>6) 10) 11)</sup>、立位つま先立ち運動<sup>12)</sup>、片側の大腿挙上運動<sup>13)</sup>、前方体幹屈曲運動<sup>14)</sup>、椅子からの立ち上がり運動<sup>15)</sup>、垂直飛び<sup>16)</sup>、一歩踏み出し動作<sup>15)</sup>などである。このような研究で、APAs は上肢や下肢の随意的な運動に先行して出現し、姿勢調節において重心動揺を最小限にするため、転倒することなく随意運動を行うために重要な役割を果たしていることが証明されてきた。

APAs に影響を及ぼす要因としては、1) 主動作のパフォーマンス<sup>11) 15) 17) 18)</sup>、2) 動作開始前の重心位置<sup>15) 19) 20) 21)</sup>、3) 主動作の種類<sup>10)</sup>、4) 姿勢平衡の不安定性<sup>17)</sup>などが報告されている。

特に、主動作のパフォーマンスにおいて、丸岡らは、運動に適した予測過程が行われることにより、我々は立位での上肢運動中にも転倒せずに姿勢を保持し動作を遂行することができる<sup>22)</sup>と述べており、立位時における随意的な上肢運動に対しての APAs の重要性を示している。

APAs の発生メカニズムは随意運動のメカニズムと異なるとされ、APAs を発現させる中枢機構について、1992 年に Massion が提唱した 2 つのモデル(図 1 参照)についての論争が継続されている<sup>23)</sup>。1 つは姿勢と運動のそれぞれの調節に関わる制御系に、上位中枢から同時に指令信号が下行するが、姿勢調節実行の信号は運動制御系に入力し、一時的にこの系を抑制する parallel mode、もう 1 つは運動制御系が姿勢制御系よりも上位にあると考え、運動制御系から下行した信号が一部姿勢制御系へ入力し、主動作を円滑にする方向へ姿勢調節を促進する hierarchical mode である。parallel mode は、主動作を伴わない姿勢調節課題だけでも APAs が発現すること<sup>24)</sup>、hierarchical mode

は APAs と主動作それぞれの要素が密接に関連していること<sup>11) 18)</sup>が理由として挙げられる。解剖学的に上位中枢から脊髄を下りてくる遠心性神経線維の通る脊髄下行路は、脊髄通過部位によって大きく 2 つに分類される。1 つは皮質脊髄路や赤核脊髄路を中心とする背外側系、もう 1 つは網様体脊髄路や前庭脊髄路や視蓋脊髄路を中心とする腹内側系である。背外側系は運動制御系の下行路、腹内側系は姿勢制御系の下行路としてみなされ、それぞれの制御系は独立しているといえるかもしれない。しかし、Mori らは、皮質脊髄路とその副軸索は下行の途中で橋延髄網様体に位置する網様体細胞に興奮性のシナプス結合をしていることに着目した。そして、一次運動野、補足運動野、大脳基底核および小脳から網様体脊髄路の起始細胞の存在する網様体への投射、すなわち皮質網様体路が主動作を開始するための姿勢調整を可能にさせていることを示唆した<sup>25)</sup>。以上、運動と姿勢調節各々の制御系とそれをつなぐ経路は解明されつつある。

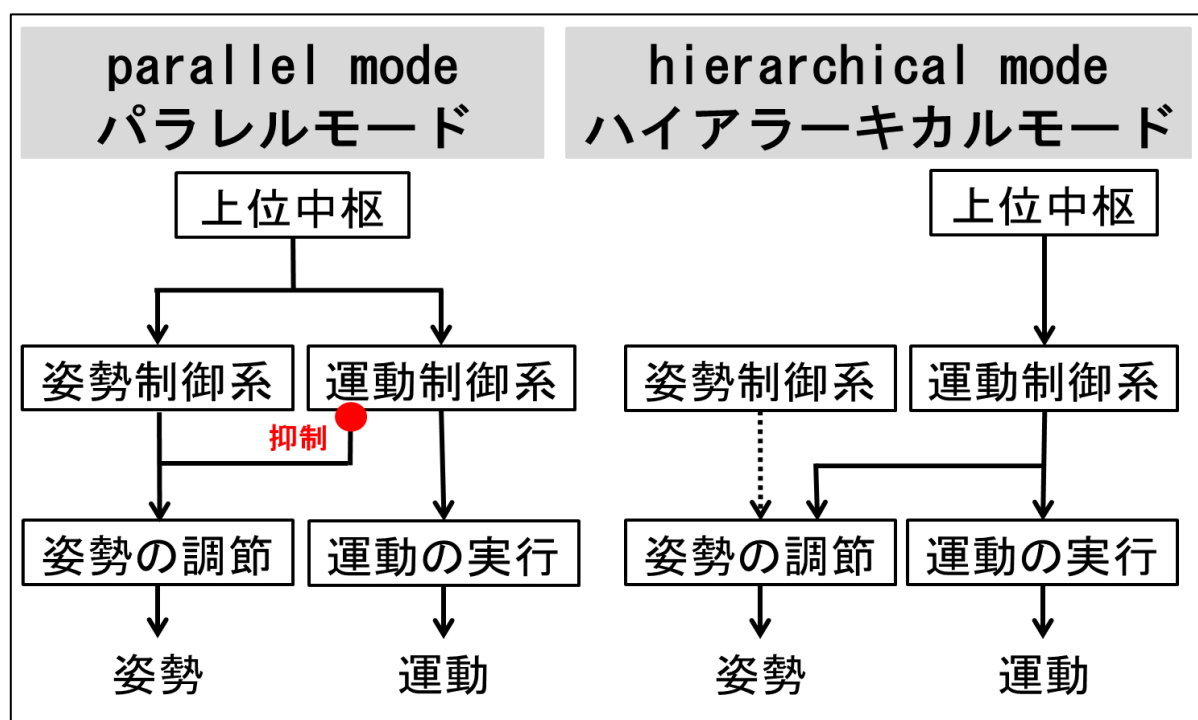


図 1. APAs のメカニズム (Massion J, 1992)<sup>23)</sup> :

**parallel mode** は、姿勢と運動のそれぞれの調節に関わる制御系に上位中枢から同時に指令信号が下行するが、姿勢調節実行の信号は運動制御系に入力し一時的にこの系を抑制するモードである。**hierarchical mode** は、運動制御系が姿勢制御系よりも上位にあると考え運動制御系から下行した信号が一部姿勢制御系へ入力し、主動作を円滑にする方向へ姿勢調節を促進するモードである。運動制御系は姿勢の調節を確実にを行い、かつ、運動制御系を確実に抑制すると解釈する。姿勢調節系は APAs を、運動制御系は主動作を意味している。また、主線は主作用の伝達経路を、破線は一部作用の伝達経路を意味している。

#### 1-1-4 立位姿勢での右側上肢挙上における APAs の身体的変化

APAs を観察するパラメータは、筋活動や COP、加速度、モーションキャプチャーによる実際の動きによって示される。APAs の先駆けとなった研究で、まず初めに発見されたものは、主動作筋に先行して生じる姿勢保持筋の活動である<sup>6)</sup>。その後、姿勢保持を行っているという課題の中で COP の変化も合わせて検討されるようになった。そして、これらが検討されるようになり、動作速度を変化させたなかでの APAs についての検討も行われてきた<sup>22)</sup>。

APAs は、上肢や下肢の随意的な運動時に先行して出現することは分かっているが、本研究では特に、実際の日常生活の中で、立位にて諸動作を行う場面がより多くみられること、また、右利きの者が多いことから、立位姿勢での右側上肢挙上における APAs の身体的変化について研究する。

立位姿勢にて、右側上肢を随意的に挙上する際の APAs の身体的変化は、筋活動の特性として、主動筋である三角筋の筋活動開始前に、ヒラメ筋の筋活動抑制に続き、脊柱起立筋、大殿筋、ハムストリングスと前脛骨筋の筋活動が続くことが明らかになっている<sup>26)27)</sup>。COP の特性として、前後方向の COP(AP-COP)は、随意的な主動作(両側上肢でも一側上肢でも)に先行し、後方へ移動することが明らかになっている。これは、ヒラメ筋の筋活動抑制と前脛骨筋の筋活動増加によって生じ、上肢を挙上した際には、重心が前方へ移動するので、それを抑制するため、予め後方へ移動すると考えられている<sup>28)</sup>。

人が最も安定する安静立位姿勢における前後方向の COP(AP-COP)の平均は、成人では踵から足長の 40 数%であると報告している<sup>29)</sup>。藤原ら<sup>30)</sup>は、上肢挙上前の初期 COP 位置についての研究で、運動開始前の COP を踵から足長の 30 %、45 %、60 % に設定した場合、それぞれにおける上肢挙上時の立位姿勢が、どのように調節されるか検討した。その結果、初期 COP 位置が踵から足長の 30 %である場合、APAs として COP の後方移動はみられなかった。これは、30 %という COP の位置は安静立位姿勢の重心位置からかなり偏移し、不安定な姿勢であったためであり、上肢挙上によって、COP が前方へ移動し、むしろ立位姿勢の安定性が増大したと述べている。このことから、上肢挙上前の前後方向の COP(AP-COP)の位置によって、その後の動作に伴う APAs としての COP が後方移動しない場合もある。

また、Blouse らは、COP を軸とした、その周りで発生する水平面での垂直トルク(以下:  $T_z$ )が、運動を起こしている片側の腕と関連した APAs を定量化することに役立つパラメータであることを証明した<sup>26)</sup>。 $T_z$  は、一側上肢を随意的に前方挙上した際にみられる(図 2 参照)。この主動作により、体には頭上からみて反時計回りの  $T_z$  が出現する。APAs としての  $T_z$  の現象として、それと反対の頭上からみて時計回りの  $T_z$  が発生するといわれている。



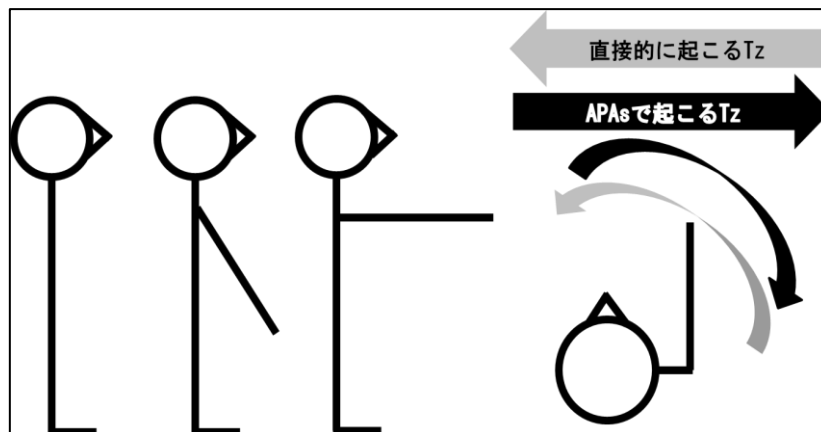


図 2. Tz の説明 :

**Tz** は、一側上肢を随意的に前方挙上した際にみられる **COP** を軸とした垂直トルクである。左の図は、肩屈曲の主動作を横から見た図である。また、右の肩屈曲は、頭上から見て反時計周りの捻れるトルクが体に働く(右の図)。これに対し、**APAs** として、それと反対の時計回りのトルクが発生する。

**APAs** でみられる筋活動や **COP**、**Tz** は、上肢運動の距離と速度を上げることで、**APAs** の振幅(**COP** 分散・筋電位)と期間が増加する<sup>26) 28)</sup>と報告されている。

### 1-1-5 デュアルタスク(二重課題)

デュアルタスク(二重課題)とは、1つの課題を行いながら、同時にもう1つの課題を行うものである。人は、道具の使用や、高度な認知作業を同時に行うことができる。そのような意味では、立ち話や料理などの何気ない日常生活の場面でさえ、デュアルタスクと捉えることができる。

デュアルタスクを用いた先行研究は数多くあり、目的や対象者も多岐にわたる(表1参照)。人の生活様式に直結しているためか、静止立位や平均台上歩行などのバランス課題を2つの課題の一方として採用するものが多い。もう一方の同時に課せられる課題は、反応、記憶、計算などの認知作業や、ボタンはめ、コップやビー玉を乗せたトレイ運び、指での力発揮等の微細な手指操作など多彩である<sup>31)</sup>。

本研究では、デュアルタスクが、特に健常者におけるバランス能力にどのように影響しているのかを中心に考え、類似した先行研究を参考に取り組んだ。

### 1-1-6 デュアルタスクとバランス能力

一般的に、バランス能力の評価には、立位保持や歩行動作のみを課題として提示するシングルタスク法<sup>32)</sup>が用いられている。しかし、実際の日常生活場面においては姿勢調節そのものに注意を向けることは少なく、周囲の環境にも注意を向けながら姿勢を調節することが多いことから、姿勢調節以外に注意を向けた際のパフォーマンスの変化にも注目する必要がある。そこで、バランス能力を評価する際の課題提示法の1つとして、立位保持課題と認知課題を同時に提示するデュアルタスク法が用いられるようになった<sup>33)</sup>。デュアルタスク下での運動機能は、有用な転倒リスク評価法となることが明かとなっている<sup>1) 34) 35)</sup>。

健常者の立位時におけるバランス能力は、デュアルタスクを課すことで、姿勢調節に払う注意配分や、姿勢調節の自動化によって影響を受ける<sup>31)</sup>。

姿勢調節に払う注意配分とは、情報処理能力のことを指し、姿勢調節に払う注意配分が少ないほど、COPの動揺は減少する。これは、姿勢調節が自動化されたためであり、その分、他のことをする余裕が増えるともとらえられる。

姿勢調節の自動化とは、姿勢調節が無意識に行われる程度が増えることである。すなわち、課題に対し意識するか、無意識化されるかで決まり、自動化が高いほど、COPの動揺は減少する。本来、デュアルタスクはシングルタスクと比較して、どちらか一方の課題パフォーマンスが低下するはずである。ところが、逆に課題パフォーマンスが向上したとの報告も多数ある。姿勢調節の自動化は、デュアルタスクで課題パフォーマンスが向上する場合の、キー概念のひとつである。

姿勢調節に払う注意配分や、姿勢調節の自動化は、それぞれ独立したものではなく、相互に関係している<sup>31)</sup>。

### 1-1-7 デュアルタスクがパフォーマンスに及ぼす影響

デュアルタスクは、これまでの先行研究で、それを行うことでパフォーマンスを低下させる場合と、逆に向上させる場合が報告されている。

デュアルタスクでパフォーマンスが低下する例として、Vuillerme ら<sup>36)</sup>は、デュアルタスクとして、難易度の異なる3つの立位姿勢と音刺激への反応課題(ボタン押し)を課した研究を行った。立位姿勢は、二足静止立位、片足立位、軟弱なフォームパッド上での片足立ちを行った。その結果、デュアルタスクでバランス課題が難しくなるほど反応時間は遅れた。これは、バランス課題の難易度が高まると、姿勢調節に必要な注意配分が増加することを示唆している。Pellecchia<sup>37)</sup>は、シングルタスク(単一課題)として、フォームパッド上での二足静止立位を、デュアルタスクとして、静止立位と難易度の異なる3つの認知課題を同時に課す研究を行った。認知課題は、容易な順に、数列の繰り返し、数の分類、連続減算(指示された数から連続して3を引いていく)であった。その結果、デュアルタスクで認知課題が難しいほどCOP動揺軌跡が長くなり、バランスパフォーマンスが低下したとしている。このことから、運動課題は同時に課せられる認知課題に影響をうけることが示唆されている。この先行研究では、シングルタスクとしてフォームパッド上での二足静止立位を行っており、ただ床上で立位姿勢を保持することより不安定な姿勢であり、難しい課題と思われる。つまり、立位姿勢を保持するだけでもバランスの自動化ができないことになる。それに加え、認知課題を難しくすることで、COP動揺軌跡が長くなったと考えられる。

このように、デュアルタスクをすることで、一方のパフォーマンスが低下するのは、比較的理解しやすい。しかし、逆にパフォーマンスが向上することを示した先行研究もある。デュアルタスクでパフォーマンスが向上する例として、Vuillerme ら<sup>38)</sup>は、シングルタスクとして床反力計上で閉眼安静立位姿勢を、デュアルタスクとして閉眼安静立位と難易度の異なる暗算課題を同時に課しCOP動揺の変化を調べた研究を行った。前後方向のCOP(AP-COP)と左右方向のCOP(ML-COP)の動揺を測定した結果、閉眼安静立位姿勢単独よりも、閉眼安静立位姿勢と暗算課題を同時に行ったほうが、前後方向のCOP(AP-COP)の動揺が減少したことを報告している。シングルタスクとして床反力計上で閉眼安静立位姿勢を行っており、安定した床上で立位姿勢の保持を行っていることから簡単な課題であると思われる。暗算課題を同時に行ったほうが、前後方向のCOP(AP-COP)の動揺が減少した理由として、足関節周囲筋のスティフネスが増加し、安定した重心を探索するためのCOPの動きである探索的動揺が減少したためだと考えられる。安静立位姿勢における姿勢調節は、本来、自動的なものであるが、運動課題である安静立位のみ意識を向けると、かえって姿勢調節機能が損なわれる。デュアルタスクをすることで、他の課題に注意が向けられ、姿勢調節の自動化が高められたことを意味している。Donker ら<sup>39)</sup>は、シングルタスクとして開眼および閉眼安静立位姿勢を、デュアルタスクとして立位姿勢と単語の逆綴りを同時に課した研究を行った。この研究では、バランス調節の自動化の指標として、COP軌跡の

サンプルエントロピーを算出した。サンプルエントロピーとは、心拍時系列のような複雑な振舞いをする時系列の規則性を計るための「一定不変の統計量」として考案された解析法である<sup>40)</sup>。サンプルエントロピーの値が大きいほどランダム性が高い(規則性が低い)ことを示し、意識的制御が介在する可能性が低くなる。分析の結果、閉眼で開眼よりもサンプルエントロピーが高くなり、閉眼では、シングルタスクよりもデュアルタスクで COP 動揺軌跡長の変動性(標準偏差)は小さく、サンプルエントロピーは高くなった。この結果は、開眼安静立位姿勢より難しい運動課題(閉眼安静立位姿勢)では、デュアルタスクで認知課題を同時に課すことで、姿勢調節の自動化が高められ、姿勢調節の効率が向上することを示唆している。

本項で述べてきたように、デュアルタスクがパフォーマンスに及ぼす影響は、様々である。そこには、デュアルタスクにおける運動課題や認知課題の難易度が、姿勢調節に払う注意配分や姿勢調節の自動化と関与していることがいえる。

#### 1-1-8 デュアルタスクと APAs の関係性

前述したように、デュアルタスクをすることでパフォーマンスが向上する場合はあるが、デュアルタスクをすることでの主動作と、それに伴う APAs がどう影響されるのかは不明な点が多い。

Jones ら<sup>41)</sup>は、シングルタスクとして反応課題であるバランスボール上での股関節屈曲を、デュアルタスクとして反応課題と暗算課題を同時に課し、デュアルタスクが姿勢調節にどう影響するかの研究を行った。筋電位を測定し、シングルタスクと比較しデュアルタスクでは、主動作の筋である大腿直筋の筋活動は低下し開始も遅れたが、APAs として体幹の筋である脊柱起立筋の筋活動は変わらなかったという結果が得られている。この研究において、Jones らは、デュアルタスクにおいて、課題に対する注意配分の増減により一方の課題に対する遂行能力が低下したことを示している。

また、Jacobs ら<sup>42)</sup>は、シングルタスクとして歩行開始前の 1 歩踏み出し動作を、デュアルタスクで 1 歩踏み出し動作と聴覚に対するストループテストを同時に課した研究を行った。ストループテストとは、同時に二つの情報が干渉しあう現象を利用したテストであり、1935 年に心理学者 Stroop JR によって報告されたことからこの名で呼ばれる<sup>43)</sup>。COP の開始時間を測定し、シングルタスクと比較しデュアルタスクでは、認知課題への注意配分が増加したことで、主動作の開始時間は遅れ、APAs の開始時間も遅れたという結果が得られている。Melzer ら<sup>44)</sup>は、シングルタスクとして反応課題である合図後に前方へのステップ動作を、デュアルタスクとして反応課題と視覚に対するストループテストを同時に課した研究を行った。APAs として COP を測定し、シングルタスクと比較しデュアルタスクは、反応課題である前方へのステップ動作における遊脚相の前の準備相の段階で、認知課題への注意配分が増加したことで、支持脚への十分な体重移動が行えず、また、前後方向への力が最大になるまでの時間も遅れたという結果が得られている。同じく Melzer ら<sup>45)</sup>は、シングルタスクとして

反応課題である合図後に左右、前方、後方へのステップ動作を順番に行う課題を、デュアルタスクとして反応課題と視覚に対するストロークテストを同時に課した研究を行った。APAs として COP を測定し、シングルタスクと比較しデュアルタスクは、反応課題の前方または後方へのステップ動作で、APAs としての COP 開始時間に有意差は認められなかったが、左右のステップ動作における遊脚相の前の準備相の段階で、認知課題への注意配分が増加したことで、APAs としての COP 開始時間が遅れた結果が得られている。

これらの先行研究より、デュアルタスクによる APAs は、どのデータ項目を測定するかで結果が変化し、デュアルタスクで主動作とそれに伴う APAs がどう変化するかは一概に言えないことが分かる。また、暗算課題をすることで、安静立位時の COP の動揺は減少し、静的安定性には有意に働くことは先行研究より分かっているが、反応課題前の COP の動揺が減少した人ほど、反応課題後の主動作とそれに伴う APAs がどう変化したかについては分かっていないのが現状である。

表 1. デュアルタスクにおける主な先行研究一覧

著者名	シングルタスク	デュアルタスク	結果	評価
Vuillerme N, Nougier V. 2004	難易度の異なる3つの立位姿勢(二足静止立位、片足立位、軟弱なフォームパッド上での片足立ち)	立位姿勢と音刺激への反応課題(ボタン押し)	デュアルタスクでバランス課題が難しくなるほど反応時間は遅れた	バランス課題の難易度が高まると、姿勢調節に必要な注意配分が増加することを示唆している
Pellecchia GL. 2003	フォームパッド上での静止立位	静止立位と難易度の異なる3つの認知課題(数列の繰り返し、数の分類、連続減算)	デュアルタスクで認知課題が難しいほどCOP動揺軌跡が長くなり、バランスパフォーマンスが低下した	運動課題は同時に課せられる認知課題に影響をうけることが示唆している
Vuillerme N, Vincent H. 2006	床反力計上で閉眼安静立位姿勢	閉眼安静立位と難易度の異なる暗算課題	COPの動揺を測定した結果、デュアルタスクで、前後方向のCOP (AP-COP)の動揺が減少した	デュアルタスクでは、他の課題に注意が向けられ、姿勢調節の自動化が高められたことを意味している。
Donker SF, Roerdink M, Greven AJ, Beek PJ. 2007	開眼および閉眼安静立位姿勢	立位姿勢と単語の逆綴り	デュアルタスクでCOP動揺軌跡長の変動性は小さく、サンプルエントロピーは高くなった	閉眼安静立位は、デュアルタスクで、姿勢調節の自動化が高められ、効率が向上することを示唆している
Jones P, Sorinola I, Strutton PH. 2014	反応課題(バランスボール上での股関節屈曲)	反応課題と暗算課題	筋電位を測定し、デュアルタスクで、主動筋の筋活動は低下し開始も遅れたが、APAsとして体幹の筋活動は変わらなかった	デュアルタスクでは、課題に対する注意配分の増減により一方の課題遂行能力が低下したことを示している
Jacobs JV, Kasser SL. 2012	歩行開始前の1歩踏み出し動作	1歩踏み出し動作と聴覚に対するストループテスト	COPを測定し、デュアルタスクで、主動作の開始時間は遅れ、APAsの開始時間も遅れた	シングルタスクと比較しデュアルタスクでは、認知課題への注意配分が増加したことを示している
Melzer I, Liebermann DG, Krasovsky T, Oddsson LI. 2010	反応課題(合図後に前方へのステップ動作)	反応課題と視覚に対するストループテスト	COPを測定し、デュアルタスクで、反応課題前の十分な体重移動が行えず、前後方向への力が最大になるまでの時間も遅れた	デュアルタスクでは、反応課題前の準備相の段階で、認知課題への注意配分が増加したことを示している
Melzer I, Oddsson LI. 2004	反応課題(合図後に左右、前方、後方へのステップ動作を順番に実施)	反応課題と視覚に対するストループテスト	COPを測定し、デュアルタスク(左右のステップ動作)でAPAsとしてのCOP開始時間が遅れた	デュアルタスクでは、認知課題への注意配分が増加したことを示している

デュアルタスクによる先行研究により、デュアルタスクによる APAs の効果はどのデータ項目を測定するかで結果が変化し、デュアルタスクで主動作とそれに伴う APAs がどう変化するかは一概に言えないことが分かる。

## 1-2 本研究の目的

本研究では、安静立位時での暗算課題が、反応課題である最大速度での一側上肢挙上と、それに伴う APAs にどのような影響を及ぼすのかを以下の 3 つの観点より検証することを目的とした。

第 1 の目的として、姿勢保持のみのコントロール・反応課題を行うシングルタスク・反応課題と暗算課題を同時に行うデュアルタスクでの 3 条件で COP 分散を比較し、暗算課題が安静立位の安定性にどう影響するのかを検証した。

第 2 の目的として、反応課題後の APAs と主動作をシングルタスクとデュアルタスクの 2 条件で比較し、暗算課題が反応課題にどう影響するのかを検証した。

第 3 の目的として、デュアルタスク条件下で、反応課題前と反応課題後にどのような関係性があるかを、相関分析を用いて検証した。

## 1-3 本研究の仮説

第 1 の目的に対して、Vuillerme ら<sup>38)</sup>の先行研究より、同様の実験方法を採用した。デュアルタスク条件では、暗算課題の影響を受けるので、安静立位姿勢での姿勢調節へ向ける注意が減少しバランスが自動化されるので、コントロール条件・シングルタスク条件と比較し COP の動揺が減少すると仮説を立てた。

第 2 の目的に対して、反応課題後の主動作と APAs の開始時間は、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件では、Jacobs ら<sup>42)</sup>や Melzer ら<sup>44) 45)</sup>の先行研究の結果より、認知課題への注意配分が増加するので、反応課題である主動作の開始時間は遅れ、APAs の開始時間も遅れると仮説を立てた。

第 3 の目的に対して、デュアルタスク条件下において、COP の動揺が減少している被験者では、その分、暗算課題の影響をより受けるので、反応課題への注意が減少し、主動作の開始時間がより遅れ、APAs の開始時間もより遅れると仮説を立てた。

## 第2章 方法

### 2-1 被験者と実験概要

被験者は健常成人 11 名(男性 8 名、女性 3 名)、平均年齢と標準偏差、 $26.2 \pm 4.8$  歳であった。包含基準は、利き手が右利きである者とした。除外基準は、体幹・四肢で筋骨格系に関する整形外科疾患、中枢性疾患の既往歴がある者、または現在内服薬を服用している者で、実験結果に支障をきたすと思われる者とした。

本実験は、床反力計上に立ち、安静立位姿勢を保持し難易度の異なる 3 つの条件で測定した。反応課題は、音刺激を合図に右側上肢を挙上する課題であった。認知課題は、測定開始から 21 問の計算問題を暗算する課題であった。測定項目は COP、Tz、右側上肢の角速度であった。

### 2-2 倫理

本研究は、筑波技術大学保健科学部附属東西医学統合医療センター医の倫理審査委員会の承認を得て実施した。全ての被験者には、任意性と同意撤回の自由、利益・不利益、研究結果の公表、個人情報の保護について、文章と口頭による説明を行い、以下の事項について同意を得た後に実験を実施した。

1. 途中で同意を撤回しても不利益は生じないよう配慮される。
2. 被験者の秘密は守られ、名前や個人を鑑別する情報は非公表とする。
3. 研究で得られた情報は、筑波技術大学院を通じて、関連学会へ投稿される。
4. 個人を識別する情報は非公表とし、この研究に関わる関係者、この研究を審査する委員会担当者が対象被験者の個人記録等を閲覧する可能性があるが、この場合であってもプライバシーは保護される。

### 2-3 作業と手順

#### 2-3-1 測定機器・課題

##### 1. 床反力計(フォースプレート)と三次元動作分析装置(バイコン)

COP と Tz の測定には、床反力計を利用した。床反力計には、歩行、重心動揺解析用可搬式多成分フォースプレート(600×500 mm KISTLER 社製 型式: 9260AA)が用いられた。床反力計の天板に力がかかると、取り付け用台座と天板の間に配置された 4 箇所の 3 成分力センサにより、その力が分離される。そして、それぞれのセンサのうちの 1 枚は鉛直方向の力を感知し、残りの 2 枚は前後方向 (Fy) と左右方向 (Fx)



の力を感知する装置である<sup>46)</sup>。

本実験では床反力計は 2 台使用され、1 台は被験者の立位姿勢での前後方向の COP(AP-COP)、左右方向の COP(ML-COP)、Tz を測定するために使用された。もう 1 台は、測定中に験者が打腱器でプレート上を軽く叩き音を出し、その音刺激を合図に、被験者が右側上肢を挙上するための時間記録のために使用された。

反応課題での主動作に伴う APAs としてみられる COP の後方移動は、安静立位姿勢の初期 COP 位置に影響されるといわれている<sup>30)</sup>。そこで、COP が足のどこにあるのか確認するため、三次元動作分析装置(VICON MOTION SYSTEMS 社製 Vicon BONITA)を使用し、床反力計上での立位姿勢時の足部の位置を測定した。反射マーカ―は、右足の踵骨隆起、外果突端部、母趾(第 1 末節骨背部)の爪に両面テープで貼付し、6 台のカメラでマーカ―の位置を確認した。

被験者は、床反力計上に裸足で立ち、閉眼にて 50 秒間立位姿勢を保持した。安静立位姿勢のポジションは、被験者が意識しないで自然に立つよう口頭にて指示した。両上肢は、体幹の側方に沿うようにし、手掌が内側に向くよう設定した。足部の位置は、プレート上に自然に立つよう、両つま先を 15 度外旋位とし、左右の踵の距離を 3 cm 離すよう設定した<sup>38)</sup>。

床反力計に立つ位置は、測定毎に常に同じ位置となるよう設定した。場所は、プレート上の後方の淵から、15 cm 前方に左右の踵が位置し、左右の母趾のつま先がずれないように、予めプレート上にテープで印を付けた後に測定した。

床反力計は、各測定毎にゼロ補正を実施した。これは、床反力計上に、被験者を含む全ての物がなく、どの方向にも力が加わっていない状態を 0 と設定した。

三次元動作分析装置は、各被験者の実験前にキャリブレーションを実施した。これにより、床反力計が周囲のカメラで見た時どこに位置するのか、また、足部の反射マーカ―を感知するカメラはどこに位置するのかを確認した。

右足部の反射マーカ―に、ノイズが入らないよう、遮光カーテンで周囲の光が入らないよう配慮した。さらに、マスク処理を実施し、反射マーカ―以外の光がカメラに投影されないよう配慮した。

## 2. 角速度センサ

右側上肢の前方挙上 90 度までの角速度を測定するため、角速度センサ (MicroStone 社製 6 軸モーショセンサ MP-M6 シリーズ MP-M6-02-2000C, W230×D120×H50 mm, 約 3 g) を用いた。センサは、3 軸加速度センサと 3 軸ジャイロセンサをワンパッケージ化したものである<sup>47)</sup>。

センサの延長線が被験者の第 3 中手骨上になるよう、右手背の手根骨の皮膚上に両面テープで貼付した。

測定する際、センサは 3 軸のため、センサを床に対して垂直を保つよう配慮する必要がある。そのため、右側上肢を挙上する際は、手掌を常に内側に維持するよう口

頭にて指示した。

また、パイロットデータより、反応課題で音刺激の合図後に上肢を素早く挙上する直前に、被験者が無意識に腕を後方へ引いてしまい、その後の上肢の前方挙上がより急速になり、データの正確性に欠けることがわかった。そのため、本実験では、上肢を挙上する瞬間、できる限り後方へ引かないよう予め口頭で指示した。

### 3. 反応課題

反応課題は、音刺激を合図に、右側上肢をできるだけ素早く 90 度前方挙上する課題とした。音合図の時間記録に、床反力計のプレートを使用した。験者は、測定開始後約 42 秒時に、打腱器を使用しプレートを軽く叩き音を出した。

### 4. 暗算課題

暗算課題は、1 桁の整数の加減を 2 秒間隔で流し、暗算をする課題とした。計算問題は、人声で録音したものを計 20 通り用意し、パソコンより開始から終了まで一定の音量で流した。回答は、測定終了後に被験者に口頭で確認した。正解の誤差範囲を  $\pm 2$  とした。

## 2-3-2 測定条件

測定条件として以下の1～3の3条件を設定した(図3参照)。全条件において、床反力計上で閉眼安静立位姿勢を50秒間保持した。コントロール条件を3回、シングルタスク条件・デュアルタスク条件をそれぞれ5回測定し、各被験者につき計13回測定した。なお、各条件の順番は全6通りあり、その回数が偏らないようにするため被験者毎に擬似ランダムで実施した。休憩時間は1回の測定につき約1分、条件間は約5分とした。

### 1. コントロール条件

安静立位姿勢を50秒保持する対照条件とした。

### 2. シングルタスク条件

測定開始の合図で安静立位姿勢を保持し、42秒後の音刺激を合図に、被験者は右側上肢を素早く前方へ90度挙上した。被験者は、測定終了時まで、上肢を挙上したまま姿勢を保持する単一課題条件を行った。音刺激による合図は、測定開始後、約42秒後に行った。但し、測定開始から何秒後に音合図を出すのかは被験者に知らせていなかった。

### 3. デュアルタスク条件

測定開始の合図で安静立位姿勢を保持し、パソコンから録音された計算問題を出題し、暗算課題を実施した。その後の音刺激を合図に、右側上肢を素早く前方へ90度挙上する反応課題を行う二重課題条件とした。音刺激は、シングルタスクと同様に測定開始後、約42秒後に行った。但し、計算問題が何問出題されるか、また、音合図の時間のことは被験者に知らせなかった。

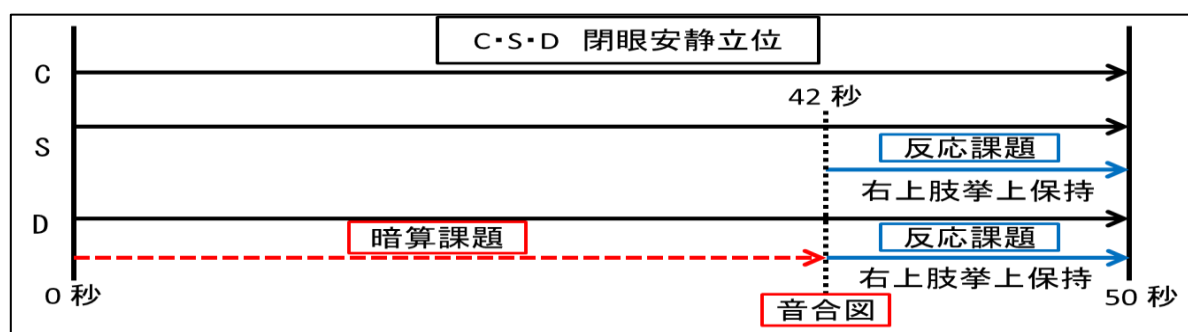


図3. 測定条件：

図3のCはコントロール条件(安静立位姿勢保持のみ)を、Sはシングルタスク条件(安静立位と右側上肢挙上)を、Dはデュアルタスク条件(安静立位と右側上肢挙上と暗算課題)をそれぞれ意味している。

### 2-3-3 プロトコル

本研究における内容の説明・同意を口頭及び書面にて実施した。その後、角速度センサ・足部マーカーを皮膚上に貼付し、裸足で床反力計上に立ち、足部の位置を決め安静立位姿勢を保持した。測定は、床反力計上での立位姿勢における COP、反応課題における右側上肢挙上に対する角速度、 $T_z$  を測定した。なお事前に、センサは正しく働くか、主動作である右側上肢の前方挙上は問題なく行えるか、測定前にリハーサルを 1 回行い確認した。暗算課題における計算問題も、リハーサル時に音量を調節し、問題が被験者に聞こえるか確認した後に測定した。先行研究より、測定中は、声を出さず、体幹や上肢は、できる限り動かさないよう被験者へ口頭にて指示した<sup>38)</sup>。測定終了後は、暗算課題の回答を被験者へ口頭にて確認し、回答を間違えた場合は、再度測定した。

### 2-3-4 データ分析

データ収集には、VICON MOTION SYSTEMS 社製 Vicon Nexus Ver.1.8.5 を使用した。サンプリング周波数を 2 KHz とし、データは測定と同時に A/D 変換した後、パソコンに転送された。デジタル化したデータ値は、Nexus を使用し CSV 形式のファイルに保存された。

これらのファイルは、数値計算言語 MATLAB(MathWorks 社製バージョン 8.2.701(R2013b))を使用し、床反力計からの信号には 10 Hz のローパスフィルタを通し、以下のデータ値を分析した。

反応課題前のデータ分析には、立位開始 5 秒から 37 秒のデータを用い、前後方向の COP(AP-COP)分散・左右方向の COP(ML-COP)分散・COP の位置(踵からの距離/足長×100)を算出した。

反応課題後のデータ分析には、音合図から最大値までのデータを用い、 $T_z$  開始時間・右側上肢の挙上開始時間・右側上肢の挙上開始時間と  $T_z$  開始時間の差、また、最大  $T_z$ ・最大上肢速度・最大  $T_z$  スロープ・COP の位置(踵からの距離/足長×100)を算出した。

先行研究より、最大速度での右側上肢挙上は、APAs として、時計回りへの  $T_z$  が先行し出現することが分かっている<sup>26)</sup>。図 4 より、床反力計より出力された  $M_z$  は、床反力計の中央を軸とした垂直トルクである。また、同じく床反力計より出力された  $F_x$  とは、左右方向に対して働く力のことであり、 $F_y$  とは、前後方向に対して働く力のことであり、 $x\text{COP}$  とは、左右方向における COP の位置であり、 $y\text{COP}$  とは、前後方向における COP の位置のことであり、これらの数値をもとに、 $T_z$  は、 $T_z = M_z + y\text{COP}F_x - x\text{COP}F_y$  の方程式より算出された<sup>26)</sup>。

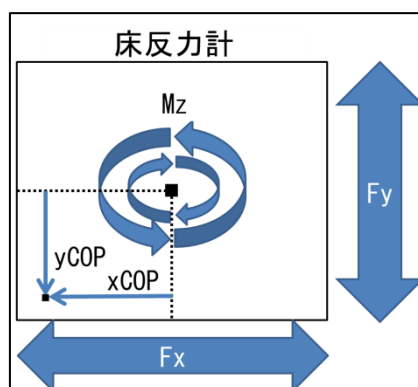


図 4.  $T_z$  の計算に必要なデータ :

図 4 は、床反力計を真上からみたものである。 $M_z$  は、床反力計の中央を軸とした垂直トルクである。また、同じく床反力計より出力された  $F_x$  とは、左右方向に対して働く力のことであり、 $F_y$  とは、前後方向に対して働く力のことである。 $x\text{COP}$  とは、左右方向における COP の位置であり、 $y\text{COP}$  とは、前後方向における COP の位置のことである。

最大  $T_z$  スロープは、 $T_z$  開始から最大値までの期間における、単位時間あたりのトルクの最大変化率であり、0.5 m 秒ずつずらしながら、50 m 秒分の  $T_z$  データに対し近似直線を引いていき、直線の傾きの最大値として算出した。

COP の位置は、足部マーカーを貼付し足部の位置を確認することで、床反力計上で、それに基づいて各測定期間において、測定開始後 5 秒から 37 秒までの 32 秒間(32 × 2,000 ポイント)の平均値が、前後方向の COP(AP-COP)が踵から足長の何%か、あるいは、音合図における反応課題時に COP が踵から足長の何%かを算出した。

さらに、暗算課題の影響をみるため、シングルタスク条件でのデータ値を 100% としベースラインとした時、デュアルタスク条件下では、シングルタスク条件よりどれくらい変化したのかを、デュアルタスク条件での変化率とし算出した。そして、反応課題前の安定した姿勢 (COP 分散) と、反応課題後で起こる APAs と主動作の変化をみるために、デュアルタスク条件下での各データ値の関係性をみた。

図 5 の 4 つのグラフは、上から順に右側上肢の角速度、前後方向の COP(AP-COP)、左右方向の COP(ML-COP)、 $T_z$  を示している。左のグラフは、1 回の測定での全体 50 秒間を示し、右のグラフは、音合図を 0 秒とした時の 0.5 秒前～1.5 秒後を示している。1 番目のグラフは、右側上肢の角速度であり、音合図後に前方挙上した際、上へ変化する。上から 2 番目、3 番目のグラフの振幅は、COP の移動距離を示し、前後方向の COP(AP-COP)は上へ移動した場合は前方に、下へ移動した場合は後方へ移動したことを意味している。左右方向の COP(ML-COP)は上へ移動した場合は右側に、下へ移動した場合は左側へ移動したことを意味している。1 番下のグラフの振幅は  $T_z$  の大きさを示し、音合図を 0 Nm とし、0 Nm より上は頭上からみて時計回りのトルクを、下は反時計回りのトルクが発生したことを意味している。

図 5 の左のグラフより、立位開始後 5 秒から 37 秒のデータから、反応課題前における前後方向の COP(AP-COP)・左右方向の COP(ML-COP)分散を求めた。

図 5 の右のグラフより、反応課題後における最大 Tz・最大上肢速度は、音合図を 0 とした時、最も上へ変化した位置とした。

Tz 開始時間と右側上肢挙上開始時間は、それぞれ最大値を算出し、その 5 %を超えた位置とした。Tz 開始から右側上肢挙上開始するまでの時間は、上肢挙上開始時間から Tz 開始時間の値を引いて算出した。

最大 Tz スロープは、Tz のデータにおける単位時間あたりのトルクの最大変化率として算出された。

前後方向の COP(AP-COP)の最大値・開始時間も同様に算出した。先行研究より、APAs として、本来 COP の後方移動が観察されることがわかったが、実験の結果、APAs として COP の後方移動がみられる場合と、みられない場合があり、今回は APAs として Tz のデータを用いた。シングルタスク条件・デュアルタスク条件で 5 回ずつ計 10 回測定し、COP の後方移動がみられない回数の平均値と標準偏差は、 $3.18 \pm 2.66$  回だった。図 5 における前後方向の COP(AP-COP)のグラフは、後方移動が観察されない例を示したものである。

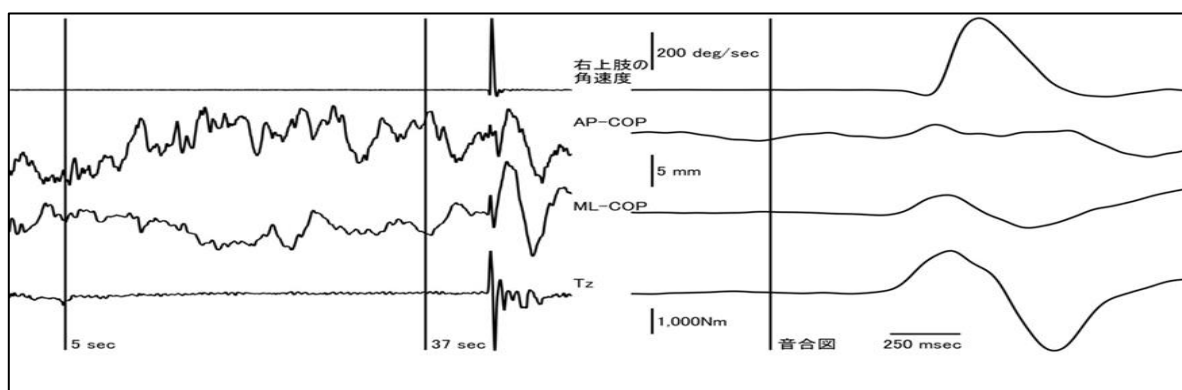


図 5. 反応課題前後における主動作とそれに伴う APAs の変化：

図 5 における 4 つのグラフは、上から順に右側上肢の角速度、前後方向の COP(AP-COP)、左右方向の COP(ML-COP)、Tz を示している。左のグラフは、1 回の測定での全体 50 秒間を示し、右のグラフは、音合図を 0 秒とした時の 0.5 秒前～1.5 秒後を示している。右側上肢の角速度は、音合図後に前方挙上した際、上へ変化する。COP の縦軸は、移動距離を示し、前後方向の COP (AP-COP) は、上へ移動した場合は前方へ、下へ移動した場合は後方へ移動したことを意味している。左右方向の COP (ML-COP) は、上へ移動した場合は右側に、下へ移動した場合は左側へ移動したことを意味している。Tz の縦軸は、大きさを示し、音合図を 0 Nm とし、0 Nm より上は頭上からみて時計回りのトルクを、下は反時計回りのトルクが発生したことを意味している。

### 2-3-5 統計処理

反応課題前の安静立位姿勢における COP 分散を 3 条件(コントロール条件・シングルタスク条件・デュアルタスク条件)は、統計処理として、重複一元配置分散分析を用いた。

COP の位置は、シングルタスク条件での反応課題前と反応課題時、デュアルタスク条件での反応課題前と反応課題時、シングルタスク条件とデュアルタスク条件での反応課題前、シングルタスク条件とデュアルタスク条件での反応課題時の其々2 条件を、二元配置分散分析を用い統計処理を実施した。なお、 $\alpha = 0.05$  と設定した。さらに、対応のある t 検定を用い、どの条件間に有意差があるのかを確認し、その後、事後検定として Bonferroni 法を用い、複数回の t 検定(本実験の場合 3 回実施したので  $p < 0.017$ )の値より、小さい値を統計学的有意差とし、p 値が 5 %未満でありながらも、その確率が増えないよう調節した。

また、反応課題後における 2 条件(シングルタスク条件・デュアルタスク条件)は、対応のある t 検定を用いた。危険率は、分散分析同様に  $\alpha = 0.05$  と設定した。

反応課題後での各条件内(シングルタスク条件とデュアルタスク条件)の関係性をみるため、また、デュアルタスク条件下での変化率より、反応課題前と反応課題後の関係性をみるために、Pearson の相関係数を用いた。

反応課題後での各条件内(シングルタスク条件・デュアルタスク条件)及びデュアルタスク条件下での反応課題前と反応課題後の関係性、それぞれの相関係数を多数算出しており、統計学的に甘くならないようにするため、r が 0.735 より大きい、または -0.735 より小さい時、 $p < 0.01$  となり、有意な相関があると設定した( $\alpha = 0.01$ )。統計処理ソフトは Microsoft 社製 Excel 2010 と IBM 社製 SPSS Ver.21.0 を使用した。

### 第3章 結果

結果のデータ値は、被験者 11 名全員より算出された値を用いた。

COP の位置は、シングルタスク条件での反応課題前の平均値と標準偏差は、 $45.9 \pm 4.9$  %であり、デュアルタスク条件での反応課題前の平均値と標準偏差は、 $46.0 \pm 5.5$  %であった。また、シングルタスク条件の反応課題時の平均値と標準偏差は、 $45.1 \pm 4.8$  %であり、デュアルタスク条件での反応課題時の平均値と標準偏差は、 $45.9 \pm 5.7$  %であった。この値より、二元配置分散分析を実施した結果、反応課題前と反応課題時で、またシングルタスク条件とデュアルタスク条件で、それぞれ有意差はみられなかった。

デュアルタスク条件における暗算課題の回答の正誤は、不正解だった回数の平均値と標準偏差が  $0.72 \pm 0.86$  回であり、一番間違えた被験者でも 2 回であった。

#### 3-1 反応課題前における安静立位姿勢

反応課題前の安静立位時における前後方向の COP(AP-COP)分散、左右方向の COP(ML-COP)分散を図 6、図 7 に示す。前後方向の COP(AP-COP)分散は、コントロール条件とデュアルタスク条件間で  $p = 0.006$  であり、シングルタスク条件とデュアルタスク条件間で  $p = 0.002$  であった。この結果より、コントロール条件と比較してもシングルタスク条件と比較しても、デュアルタスク条件で有意に減少がみられた。左右方向の COP(ML-COP)分散は、コントロール条件とデュアルタスク条件間で  $p = 0.003$  であり、シングルタスク条件とデュアルタスク条件間で  $p = 0.012$  であった。この結果より、左右方向の COP(ML-COP)も、前後方向の COP(AP-COP)同様、コントロール条件と比較してもシングルタスク条件と比較しても、デュアルタスク条件で有意に減少がみられた。



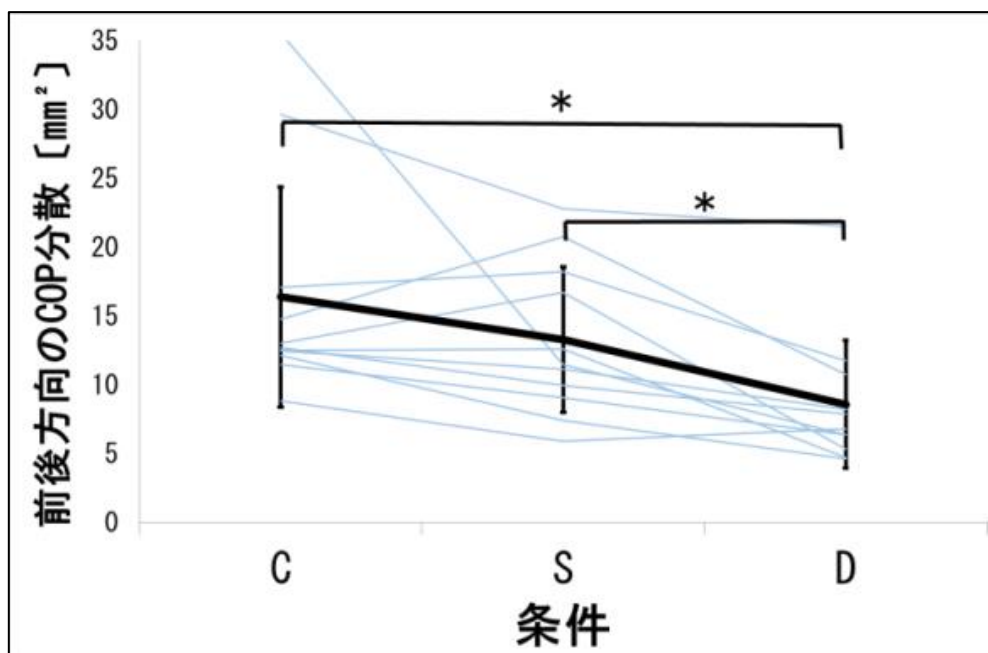


図 6. 反応課題前における前後方向の COP(AP-COP)分散：

図 6～図 13 におけるグラフの黒い線は各条件の平均値を示し、エラーバーは±1 SD を示している。図 6・図 7 の\*は  $p < 0.017$  を意味している(Bonferroni correction)。前後方向の COP(AP-COP)分散は、コントロール条件と比較してもシングルタスク条件と比較しても、デュアルタスク条件で有意に減少した。

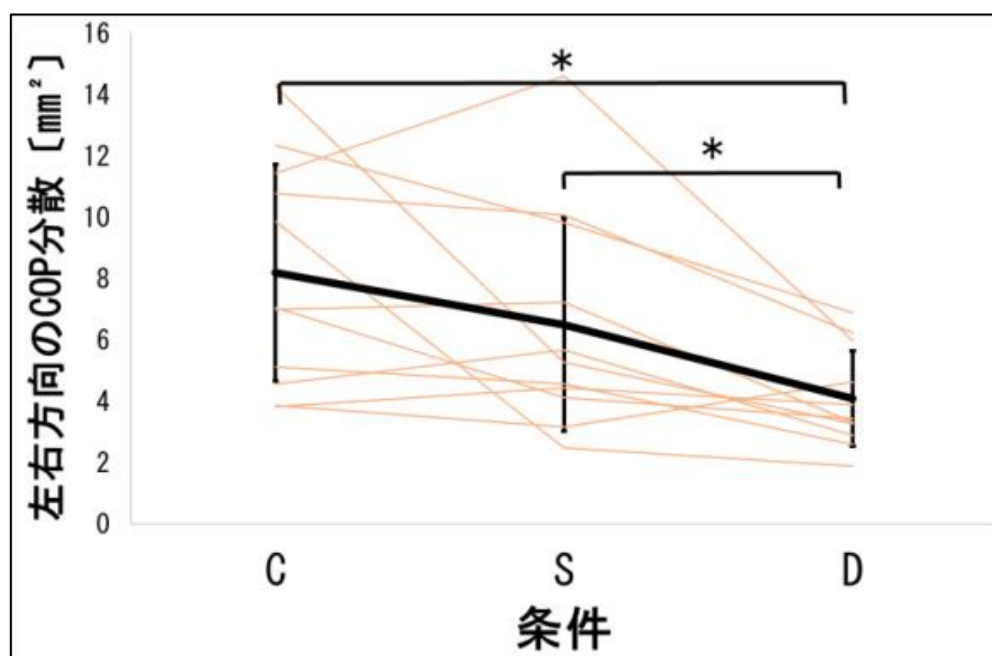


図 7. 反応課題前における左右方向の COP(ML-COP)分散：

左右方向の COP(ML-COP)も、前後方向の COP(AP-COP)同様、コントロール条件と比較してもシングルタスク条件と比較しても、デュアルタスク条件で有意に減少した。

### 3-2 反応課題後における APAs 及び主動作

反応課題後における APAs である Tz 開始時間を図 8 に示す。シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意に遅れた。

主動作である右側上肢挙上開始時間を図 9 に示す。この結果も APAs である Tz 開始時間同様、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意に遅れた。

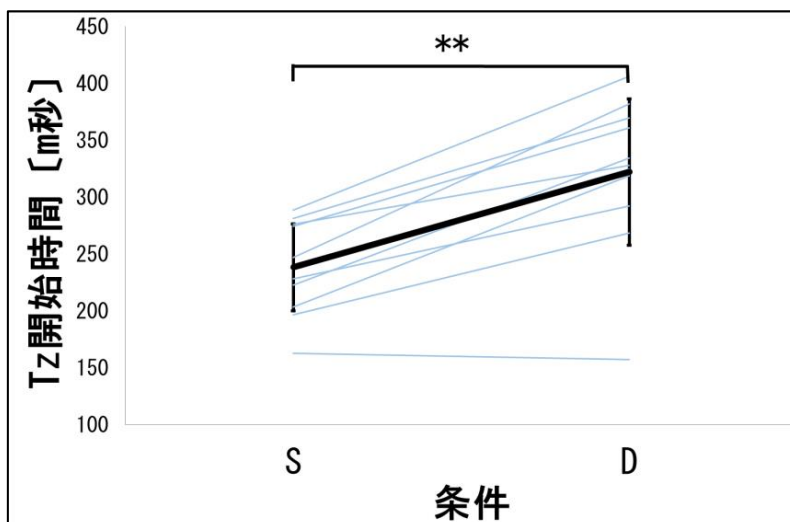


図 8. 反応課題後における APAs 開始時間(Tz 開始時間) :

図 8・図 9 の\*\* は  $p < 0.01$  であり図 10・図 11 の\* =  $p < 0.05$  を意味している。

Tz 開始時間は、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意に遅れた。

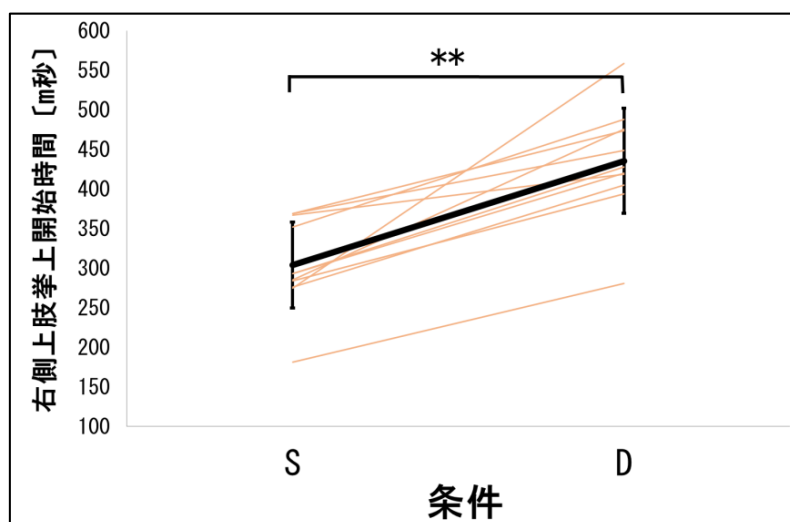


図 9. 反応課題後における主動作開始時間(右側上肢挙上開始時間) :

右側上肢挙上開始時間は、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意に遅れた。

次に、APAs である Tz 開始から、主動作である右側上肢挙上開始までの時間差(右側上肢挙上開始時間-Tz 開始時間)を図 10 に示す。APAs 開始から主動作が開始するまでの時間差は、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意に遅れた結果となった。

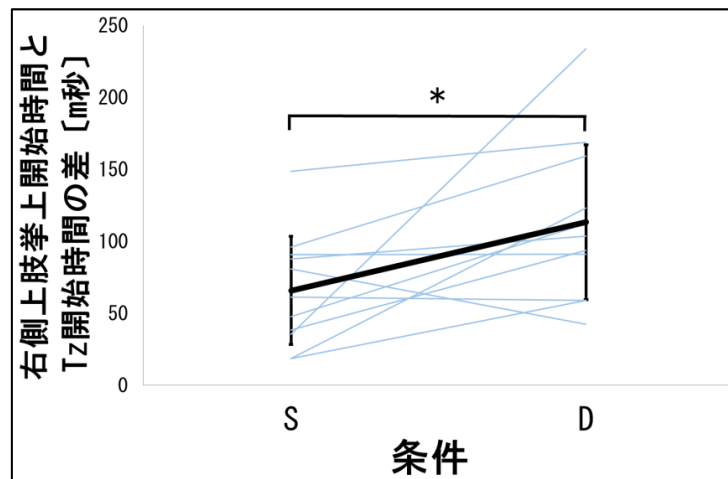


図 10. 反応課題後における APAs 開始から主動作開始までの時間 : APAs の開始から主動作開始までの時間差(右上肢挙上開始-Tz 開始)もシングルタスク条件と比較してデュアルタスク条件で有意に遅れた。

最大 Tz スロープの変化を図 11 に示す。シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意に減少し緩やかになった。

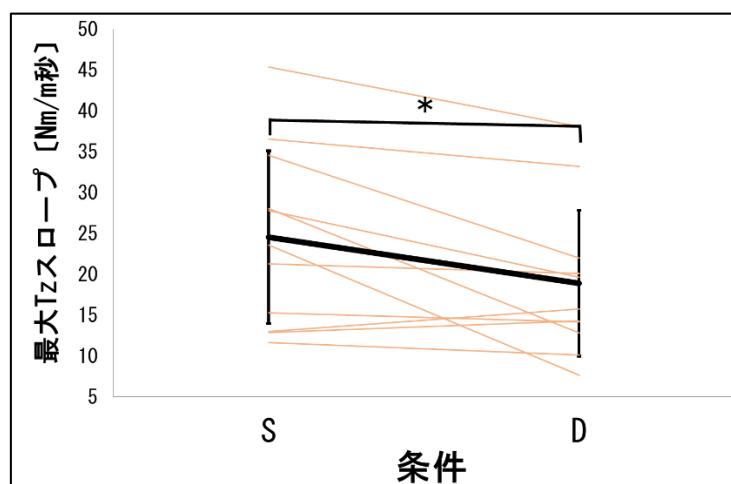


図 11. 反応課題後における最大 Tz スロープ : 最大 Tz スロープは、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意に減少し緩やかになった。

反応課題後における APAs である最大 Tz を図 12 に示す。シングルタスク条件の平均値と標準偏差は、 $2988.0 \pm 1124.9$  Nm であり、デュアルタスク条件の平均値と標準偏差は、 $2614.8 \pm 1197.8$  Nm であった。また、最大 Tz は、シングルタスク条件とデュアルタスク条件間で  $p = 0.063$  であった。この結果より、シングルタスク条件とデュアルタスク条件で有意差はみられなかった。

主動作である右側上肢挙上の最大速度を図 13 に示す。シングルタスク条件の平均値と標準偏差は、 $472.6 \pm 110.5$  °/秒であり、デュアルタスク条件の平均値と標準偏差は、 $448.0 \pm 102.4$  °/秒であった。また、右側上肢挙上の最大速度は、シングルタスク条件とデュアルタスク条件間で  $p = 0.190$  であった。この結果からも APAs である最大 Tz 同様、シングルタスク条件とデュアルタスク条件で有意差はみられなかった。

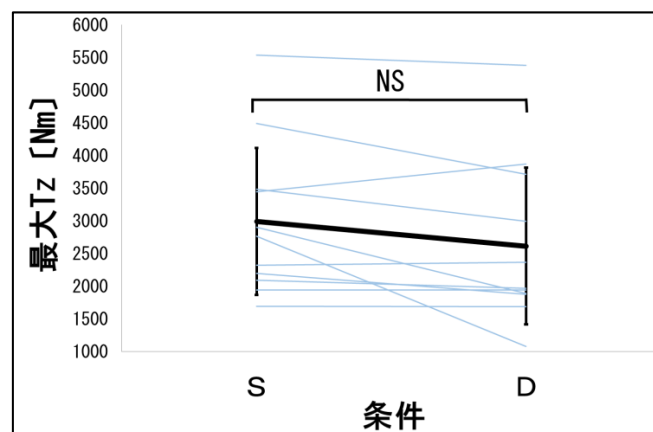


図 12. 反応課題後における APAs の最大値(最大 Tz) :  
シングルタスク条件・デュアルタスク条件間で  $p = 0.063$  であり、有意差はみられなかった。

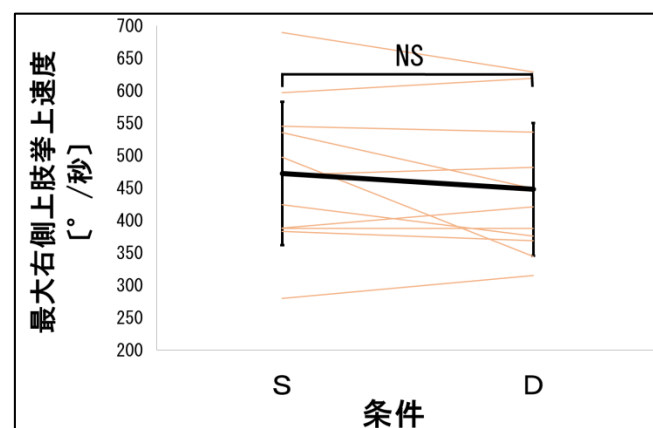


図 13. 反応課題後における主動作の最大速度(右側上肢挙上の最大速度) :  
シングルタスク条件・デュアルタスク条件間  $p = 0.190$  であり、有意差はみられなかった。

### 3-3 各条件内での関係性

反応課題後における APAs である Tz と主動作である右側上肢の動きの各データ値に関係性があるか確認した。その結果、シングルタスク条件・デュアルタスク条件ともに、最大 Tz と最大 Tz スロープ(図 14 参照)に、また最大上肢速度と最大 Tz スロープ(図 15 参照)に相関がみられた。各データ値の相関行列を表 2 に示す。

表 2. APAs としての Tz と右側上肢挙上の各データ値の相関行列

S条件内	Tz開始	最大Tz	最大Tzスロープ	上肢開始	最大上肢速度
Tz開始	1				
最大Tz	0.499	1			
最大Tzスロープ	0.522	0.945	1		
上肢開始	0.722	-0.042	-0.005	1	
最大上肢速度	-0.109	0.605	0.744	-0.109	1
D条件内	Tz開始	最大Tz	最大Tzスロープ	上肢開始	最大上肢速度
Tz開始	1				
最大Tz	0.508	1			
最大Tzスロープ	0.479	0.958	1		
上肢開始	0.663	-0.013	-0.035	1	
最大上肢速度	0.053	0.724	0.794	-0.314	1

S はシングルタスク条件を、D はデュアルタスク条件をそれぞれ意味している。

は  $r$  が 0.735 より大きい、または -0.735 より小さい時、 $p < 0.01$  となり、 $\alpha = 0.01$  で有意な相関があったことを示している。

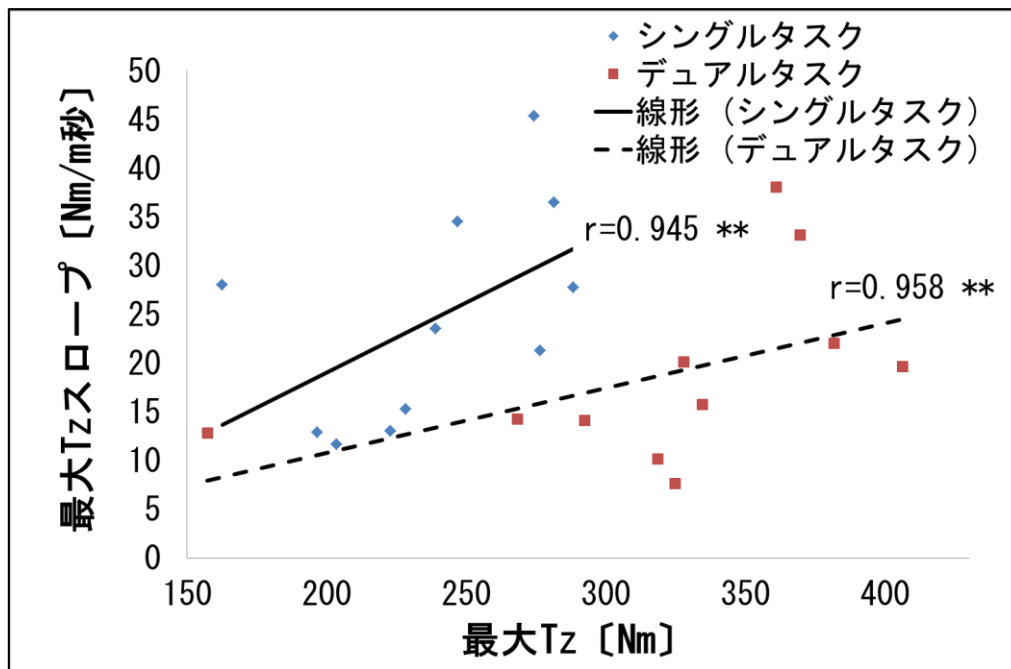


図 14. 最大 Tz と最大 Tz スロープの散布図：

図 14・図 15・図 17 の\*\*は  $p < 0.01$  を意味している。

シングルタスク条件・デュアルタスク条件とも最大 Tz と最大 Tz スロープに正の相関がみられたが、デュアルタスク条件でより強い相関がみられた。

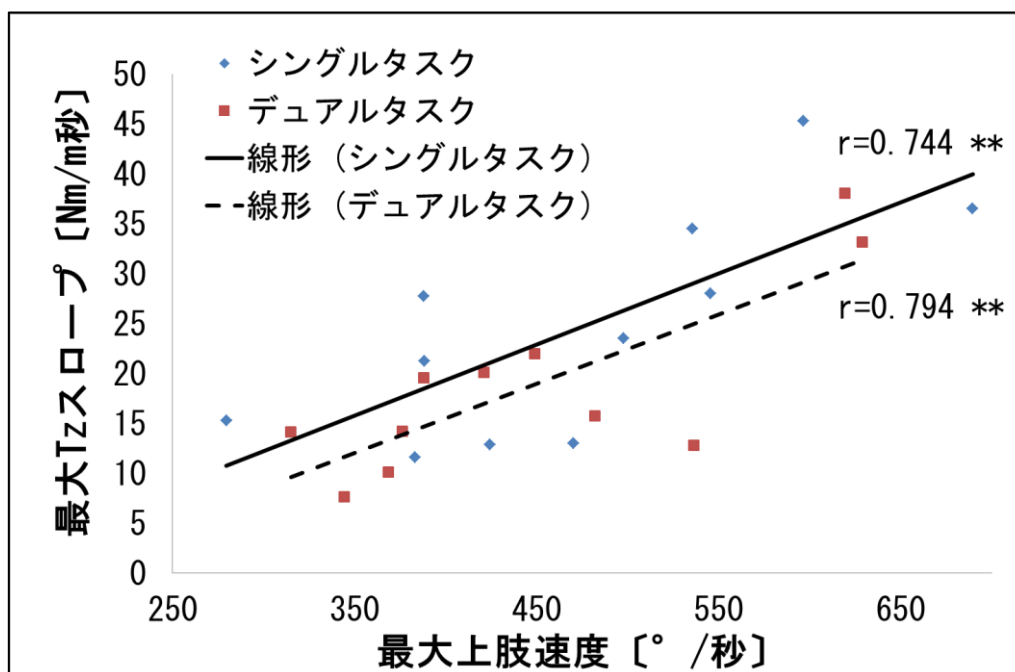


図 15. 最大上肢速度と最大 Tz スロープの散布図：

シングルタスク条件・デュアルタスク条件とも右側上肢の最大上肢速度と最大 Tz スロープに、同じ程度の正の相関がみられた。

### 3-4 デュアルタスク条件下での変化率における関係性

デュアルタスク条件下での反応課題前と反応課題後の関係性をみた結果を表 2 に示す。暗算課題の影響をみるため、シングルタスク条件でのデータ値を 100 %としベースラインとした時、デュアルタスク条件下では、シングルタスク条件よりどれくらい変化したのかを、デュアルタスク(D)/シングルタスク(S)×100 の式より、デュアルタスク条件下での変化率とし算出した [D/S(%)]。

そして、デュアルタスク条件下での変化率 [D/S(%)] から、反応課題前の安定した姿勢(COP 分散) と、反応課題後で起こる APAs と主動作の各データ値の関係性(相関)をみた。各データ値の相関行列を表 3 に示す。

反応課題前の前後方向の COP(AP-COP)分散に対し、反応課題後の APAs である Tz 開始時間には相関がみられなかった(図 16 参照)。しかし、反応課題後での最大 Tz スロープには負の相関が、また、主動作である右側上肢の挙上開始時間には正の相関がみられた(図 17 参照)。

表 3. デュアルタスク条件下での変化率の相関行列

D条件下での変化率	Tz開始	最大Tz	最大Tzスロープ	上肢開始	上肢最大速度
前後方向のCOP分散	0.046	-0.667	-0.773	0.828	-0.607
左右方向のCOP分散	-0.186	0.302	0.026	-0.191	0.087

は  $r$  が 0.735 より大きい、または-0.735 より小さい時、 $p < 0.01$  となり、 $\alpha = 0.01$  で有意な相関があったことを示している。

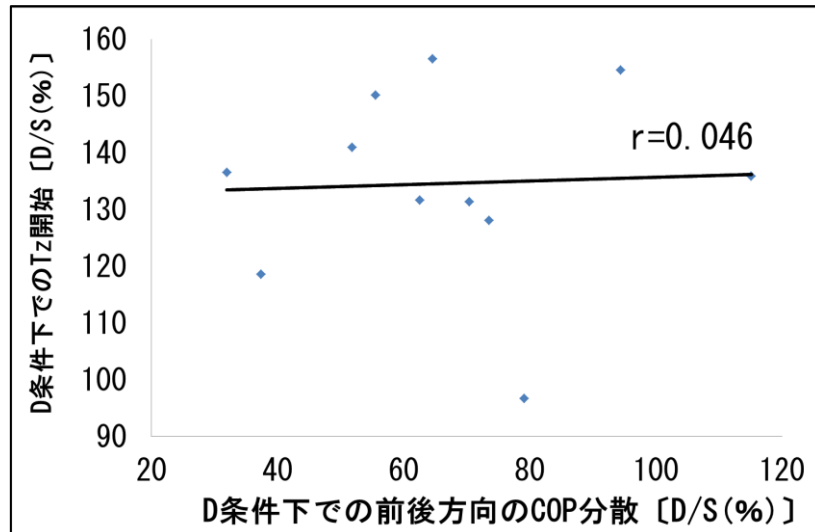


図 16. 反応課題前における前後方向の COP(AP-COP)分散と反応課題後の Tz 開始時間の散布図(デュアルタスク条件下での変化率 [D/S(%)]):  
反応課題前における前後方向の COP(AP-COP)分散と、反応課題後の主動作に伴って起こる APAs としての Tz 開始時間には相関がみられなかった。

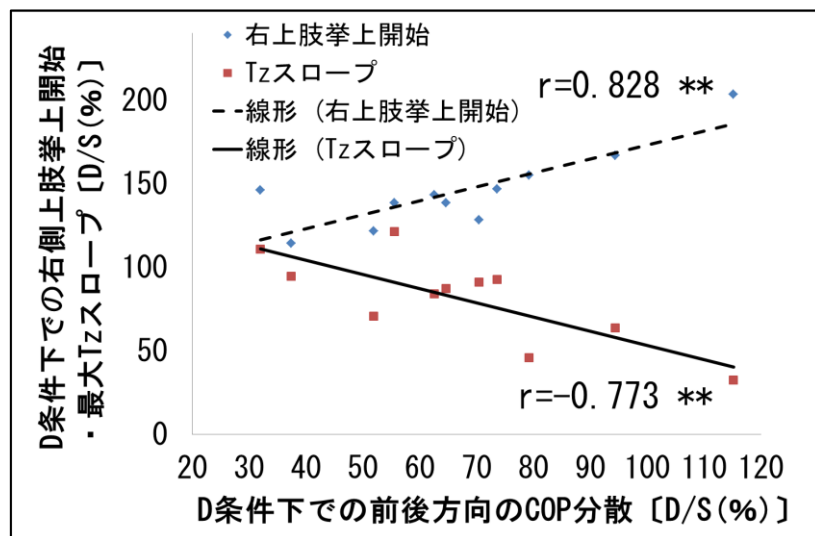


図 17. 反応課題前における前後方向の COP(AP-COP)分散と反応課題後の右側上肢挙上開始時間・最大 Tz スロープの散布図(デュアルタスク条件下での変化率 [D/S(%)]):  
反応課題前における前後方向の COP(AP-COP)分散と、反応課題後での主動作の開始時間には、正の相関があり、反応課題前における前後方向の COP(AP-COP)分散が減少しづらかった被験者ほど、反応課題後での主動作の開始時間は遅れた。また、主動作に伴って起こる APAs としての最大 Tz スロープには負の相関があり、反応課題前における前後方向の COP(AP-COP)分散が減少しづらかった被験者ほど、最大 Tz スロープは緩やかになった。



## 第4章 考察

### 4-1 反応課題前における安静立位姿勢

反応課題前における姿勢の安定性として、コントロール条件・シングルタスク条件と比較し、デュアルタスク条件では、姿勢調節におけるバランスの自動化が向上するため、COPの動揺が減少すると仮説を立てた。本実験の結果、安静立位時における前後方向のCOP(AP-COP)分散は、コントロール条件・シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で減少した(図6参照)。この結果は仮説と一致している。

今回の実験方法で3条件と設定し、コントロール条件を基準としたのは、シングルタスク条件では、事前に被験者へ反応課題を実施することを伝えており、注意が安静立位姿勢保持の姿勢調節だけでなく、反応課題にも向いてしまう可能性があり、そのことがCOPに影響すると思われるためである。その結果、コントロール条件と比較しシングルタスク条件にはCOPの分散に有意差はみられなかった。これは、安静立位姿勢を保持しなければならないというコントロール条件と比較し、姿勢保持と反応課題である右側上肢を挙上しなければならないというシングルタスク条件では、姿勢に向ける注意配分が反応課題への注意配分より多く、姿勢を保持しようとする意識が働き、姿勢の自動化がされなかったためだと考えられる。

コントロール条件・シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件でCOP分散が減少したことに対して、2つのことを考えた。1つ目に、3条件とも安静立位の姿勢保持を意識させたが、本来、安静立位における姿勢調節は、自動的なものであり、デュアルタスク条件で暗算課題にも注意が向いたことで姿勢調節機能の自動化が促され、COP分散が小さくなったと考えられる。さらに、デュアルタスク条件では、暗算課題に注意が向き、姿勢調節における注意配分が減少したと考えられる。2つ目に、本研究の結果は、暗算課題を同時に課すことで、足関節周囲筋のスティフネスが増加し、安定した重心を探索するためのCOPの動きである探索的動揺が減少したことで、バランスの自動化が向上したとの先行研究と一致している<sup>38)</sup>。これらより、姿勢保持が無意識化され、COPの動揺が減少したと考えられる。

反応課題前の安静立位時における左右方向のCOP(ML-COP)分散がコントロール条件・シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で減少した結果について述べる(図7参照)。これは、安静立位姿勢のポジションが関係していると思われる。今回は、両つま先を15度外旋位とし、左右の踵の距離を3cm離すよう設定した。この姿勢は、前後方向より左右方向への動揺は少ないとはいえ、左右方向での支持基底面が狭くなり、このポジションが、コントロール条件・シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意に減少した結果に繋がったと考えられる。仮に、左右の踵の距離を3cmより広くし、支持基底面を大きくした場合、姿勢の安定性が向上し、左右方向のCOP(ML-COP)分散には有意差がみられなかった可能性があると思われる。

COP の位置について、反応課題前と反応課題時で、またシングルタスク条件とデュアルタスク条件で、それぞれ有意差はみられなかった。APAs としての COP の後方移動について、藤原ら<sup>30)</sup>の先行研究では、初期 COP 位置が踵から足長の 30 %である場合、APAs として COP の後方移動はみられなかった結果が得られている。これは、30 %という COP 位置が安静立位姿勢の COP 位置からかなり偏移し、不安定な姿勢であったためであり、上肢挙上によって、COP が前方へ移動し、むしろ立位姿勢の安定性が増大したためであると述べている。今回の実験の場合、反応課題前でのシングルタスク条件・デュアルタスク条件、また反応課題時でのシングルタスク条件・デュアルタスク条件での COP の位置の平均値は、全てにおいて踵から足長の 45 %程度にあり、反応課題も暗算課題も、COP の位置が変化していないことが分かる。このことより、本研究の結果から、APAs として COP の後方移動がみられない理由として、初期 COP がもともと後方にあったという理由は除外される。

APAs として COP の後方移動がみられなかった場合、そもそも APAs を出現させる必要がなかったとも解釈できる。これは、もともとの安静立位姿勢の状態から、主動作である右側上肢挙上における前方への姿勢の変化が小さく、バランスを崩さずに済んだためであると考えられる。仮に APAs として COP の後方移動を確実に出現させるためには、重錘などの重りを持った状態で、上肢を素早く前方挙上させる、あるいは、一側ではなく両側上肢を素早く前方挙上させるなど、より、COP が前方へ移動する動作を行わせる必要があったと思われる。

また、図 5 の左側のグラフより、音合図前の前後方向の COP(AP-COP)と Tz の波形を比較すると、前後方向の COP(AP-COP)は、もともとの移動が大きく、Tz はもともとの移動が小さいことも関係していると思われる。COP は普段から移動しているが、その移動の範囲が大きければ、APAs としての COP の後方移動は、検出されづらいのではないかと考えられる。

## 4-2 反応課題後における APAs 及び主動作

反応課題後の APAs と主動作の開始時間は、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件では、認知課題である暗算課題への注意配分が増加することで、反応課題である主動作の開始時間は遅れ、APAs の開始時間も遅れると仮説を立てた。本実験の結果、両者ともにデュアルタスク条件で開始時間が遅れた(図 8・図 9 参照)。この結果は仮説と一致している。

APAs である Tz 開始と主動作である右側上肢挙上開始までの時間差が、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で遅れたこと(図 10 参照)に対して、随意運動と APAs の発生するメカニズムが異なることから、図 1 に示したような、上位中枢からの 2 つのモードの信号から検証をする。

図 10 の結果をふまえると、2 つのモードのうち、hierarchical mode で運動制御系がより強く運動の実行を支持している。図 18 が本研究の結果をよく説明すると考えられる。

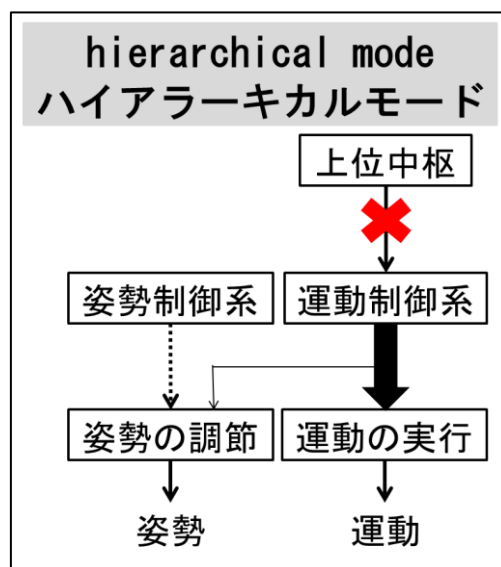


図 18. APAs・主動作開始の時間差が遅れた可能性(Massion J, 1992)<sup>23)</sup> : 姿勢調節系は APAs を、運動制御系は主動作を意味している。また、主線は主作用の伝達経路を、破線は一部作用の伝達経路を意味している。本研究の結果を占める、Massion の hierarchical mode の加筆である。

主動作である右側上肢挙上開始時間が、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で遅れたことに対して、デュアルタスク条件では暗算課題へ注意が向き、反応課題への注意配分が減少したため、主動作の開始時間が遅れたと考えられる。この結果は、デュアルタスク条件で、課題に対する注意配分の増減により、一方の課題の遂行能力が低下したとの先行研究と一致している<sup>40)</sup>。

#### 4-3 各条件内での関係性

最大上肢速度と最大 Tz スロープにはシングルタスク条件でもデュアルタスク条件でも正の相関があった(表 2 参照)。つまり、右側上肢の挙上速度が速くなればなるほど、最大 Tz スロープも急になる。ただし、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件では、最大 Tz スロープは緩やかになったが、最大上肢速度には有意差がみられなかった(図 13 参照)。この結果は、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件では、最大 Tz スロープが緩やかになったにも関わらず、最大上肢速度は維持できたともいえる。

APAs の振幅と期間は、上肢運動の距離と速度を上げることで増加する<sup>26) 28)</sup>と報告され、今回の実験では、右側上肢をできるだけ素早く 90 度前方挙上する課題であった。本来であれば、上肢の距離はシングルタスク条件でもデュアルタスク条件でも変化しないが(課題としての前提より)、上肢の速度は変化する可能性があった。しかし、最大上肢速度は、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意差がみられなかった点から、主動作の上肢挙上速度自体は変化していなかったといえる。

以上の点から、主動作の距離と速度がシングルタスク条件とデュアルタスク条件で変化していないという観点より、APAs の機能は、シングルタスク条件でもデュアルタスク条件でも機能していると考えられる。

APAs としての機能が、シングルタスク条件とデュアルタスク条件で機能している証明として、シングルタスク条件とデュアルタスク条件での Tz 開始時間の遅れ具合が主動作の遅れ具合と比較し少なく、それだけ APAs がより先行して出現したこと、また、最大 Tz はシングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意差がみられなかったことが挙げられる。

#### 4-4 デュアルタスク条件下での変化率における関係性

デュアルタスク条件下において、反応課題前で前後方向の COP(AP-COP)の動揺が変化の少ない被験者と比較し、前後方向の COP(AP-COP)が減少した被験者では、暗算課題の影響を受ける。そのため、安静立位姿勢で姿勢調節への注意配分が減少しバランスが自動化され、COP の動揺は減少する。これらの被験者では、その分、暗算課題の影響をより受けるので、反応課題への注意配分が減少し、主動作の開始時間が遅れ、APAs の開始時間も遅れると仮説を立てた。本実験の結果、反応課題前で前後方向の COP(AP-COP)分散の変化が少ない被験者と比較し、反応課題前で前後方向の COP(AP-COP)分散が減少した被験者では、反応課題後の主動作である右側上肢挙上開始時間は変化が少ない(相関がある)結果となり、APAs として Tz 開始時間は遅れる(相関はない)結果となった(図 16・図 17 参照)。この結果は、仮説と一部一致している。その理由として、反応課題前での安静立位姿勢における姿勢調節への注意配分が減少し、バランスの自動化が向上したことが COP 分散を減少させたと思われるが、その分の注意力が、反応課題だけでなく、暗算課題へ配分されたことで、主動作の開始時間の変化が少なく、APAs の開始時間が遅れたと考えられる。

デュアルタスク条件下で、反応課題前の前後方向の COP(AP-COP)分散が変化した被験者ほど、反応課題後の右側上肢挙上開始時間と最大 Tz スロープの変化が少なく、姿勢調節に必要なバランスが自動化された可能性がある(図 18 参照)。つまり、暗算課題でバランスが自動化された被験者ほど、バランス制御に必要な注意配分が減少し、姿勢保持以外の他の事(本実験の場合、反応課題)をする余裕があったと考えられる。

逆に、反応課題前の前後方向の COP(AP-COP)分散の変化が少なかった被験者ほど、右側上肢挙上開始時間が遅れ、最大 Tz スロープも緩やかになり、姿勢調節に必要なバランスが自動化できなかった可能性ある。つまり、暗算課題でバランスが自動化できない被験者ほど、バランス制御に必要な注意配分の減少は少なく、姿勢保持以外に他の事をする余裕がなかったと考えられる。注意配分の増減により、姿勢調節に必要な注意配分がどう変化したかについて図 19 を用いて説明する。

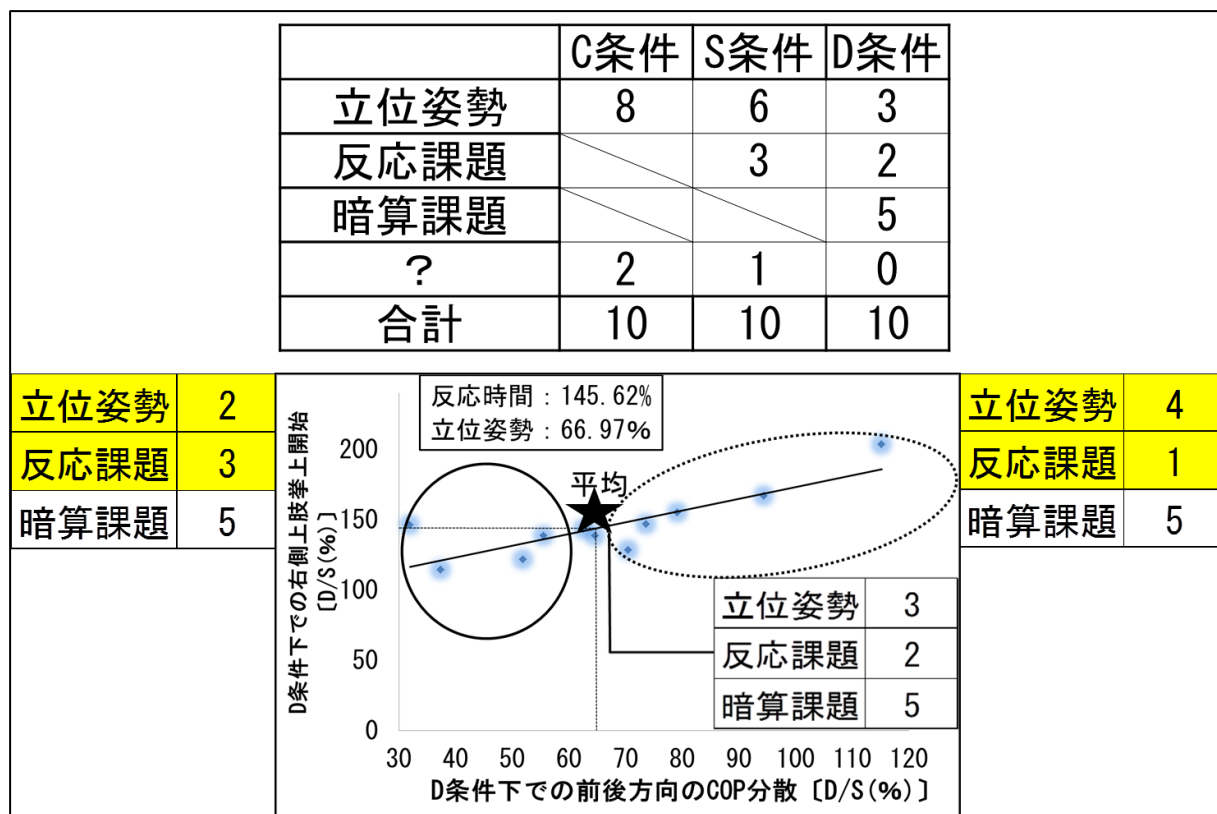


図 19. 姿勢調整における注意配分の割合 :

図 19 の表は、各条件における注意配分を模式的に数値化した表である。被験者 1 人に対する注意配分の合計の値を 10 だと仮定した場合、? はコントロール条件(C 条件)では立位姿勢だけであり余裕があったため、実験以外の他の事を考えていたと思われるので 2 とし、課題が増えたシングルタスク条件(S 条件)では 1 と仮定した。デュアルタスク条件(D 条件)では暗算課題も加わったので余裕がなくなり 0 とした。暗算課題をデュアルタスク条件(D 条件)で加えたが、暗算課題に対する注意配分は、回答を間違えた場合は除外したので一定だと仮定した。反応課題前の COP 分散はコントロール条件(C 条件)・シングルタスク条件(S 条件)間では変化がなく、デュアルタスク条件(D 条件)で有意に減少しており、立位姿勢への注意配分の減少は COP 分散を減少させることが分かっているので、 $8 \cdot 6 \cdot 3$  とした。反応課題をシングルタスク条件(S 条件)・デュアルタスク条件(D 条件)で行ったが、反応時間はデュアルタスク条件(D 条件)で有意に遅れた。反応課題への注意配分が減少すると反応時間が遅れることが先行研究より分かっているので、デュアルタスク条件(D 条件)ではシングルタスク条件(S 条件)より少ない値とした。上の表でのデュアルタスク条件(D 条件)の数値を下グラフの平均とした場合、平均より左側と右側では、立位姿勢と反応課題の注意配分の増減により、課題の遂行能力が決定されると思われる。

本研究の場合、デュアルタスク条件でやるべきことは、安静立位姿勢保持と反応課題である右側上肢挙上と認知課題である暗算課題の3つであった。そのうち、暗算課題は回答を間違えた場合は除外したので、暗算課題への注意配分は一定だったと思われる。

デュアルタスク条件下での変化率の結果より、姿勢保持と反応課題の両者の注意配分の増減により、課題の遂行能力が決定される。

本実験では、タスクの情報能力は各個人においてほぼ同一であり、かつ実験中は一定であったと仮定した。図19は3つのやるべきことにおける、被験者1人に対する注意配分を模式的に示し、注意配分の合計の値を10だと仮定する。

コントロール条件では合計の注意配分を10だと仮定した場合、立位姿勢の保持に向ける注意以外に、実際には、他の事へ注意が向いている(？=実験以外の何か他の事に注意を向けている)可能性もあるため、立位姿勢に対する注意配分が10以下の値となると考えられる(8と仮定する)。シングルタスク条件では、反応課題が加わるため、他の事を考える余裕が少なくなるため、合計を10あるうちの6と仮定し、デュアルタスク条件では、認知課題も加わるので、さらに他の事を考える余裕がなくなるため、合計を10あるうちの3と仮定した。反応課題をシングルタスク条件・デュアルタスク条件で行ったが、反応時間はデュアルタスク条件で有意に遅れた。反応課題への注意配分が減少すると反応時間が遅れることが先行研究より分かっているので、デュアルタスク条件ではシングルタスク条件より少ない値とした(シングルタスク条件を3、デュアルタスク条件を2と仮定した)。

この時、立位姿勢と反応課題の注意配分の増減により、主動作のパフォーマンスが変化するとと思われる。

図19の平均値より、左側の円の場合、デュアルタスク条件下における反応課題前で前後方向のCOP(AP-COP)分散が減少した被験者ほど、立位姿勢に向ける注意配分が減少し、反応課題に対する注意配分が増加したと思われる。前後方向のCOP(AP-COP)分散が減少した被験者ほど、立位姿勢に向ける注意配分が減少し、反応課題に対する注意配分が増加したため、反応課題である右側上肢の挙上開始時間は変化が少なかったと思われる。

逆に右側の点線で示した楕円の場合、デュアルタスク条件下における反応課題前で前後方向のCOP(AP-COP)分散が減少しづらかった被験者ほど、立位姿勢に向ける注意配分が増加し、反応課題に対する注意配分が減少したと思われる。前後方向のCOP(AP-COP)分散が減少しづらかった被験者ほど、立位姿勢に向ける注意配分が増加し、反応課題に対する注意配分が減少したため、反応課題である右側上肢の挙上開始時間が遅れたと思われる。

本研究の限界と今後の課題として、主に以下の3つが考えられる。

1 つ目に、暗算課題に対する注意配分は、計算問題が不正解だった場合、減少したといえるが、正解した場合、注意配分が増加したのか変化しなかったのかについては明確に判断ができないことである。

2 つ目に、姿勢調節は、COM が支持基底面に投影された COP によって表現できるが、実際の重心がどう変化したかについては、モーションキャプチャーによる動きを測定しないと判断できないことである

3 つ目に、今後の臨床場面での転倒予防訓練などへの応用を考えると、若年健常者だけでなく、高齢者や障害者との比較検討が必要なことなどが挙げられる。

デュアルタスクは、人の生活様式に沿ったバランス能力を評価することが可能である。本研究の結果から、臨床でのリハビリテーションでの、立位時におけるバランス練習をする上での理学療法的アプローチを考えると、立位バランスの自動化の程度が、上肢挙上開始時間と最大 Tz スロープに影響することが示唆された。安静立位姿勢の自動化を如何に促せるかで、より効果的な手咽頭予防訓練になると考えられる。

仮に高齢者を対象とし、本研究と同様の方法で実験した場合、若年健常者と比較し、次のような結果が得られる可能性があると考えられる。

高齢者は、APAs の機能は劣り、バランス制御に関わる身体機能および認知機能も劣る。デュアルタスクでは、これを補うため、課題の優先順位が若年者と異なると言われている<sup>31)</sup>。若年健常者では、注意を認知課題に優先的に向けることで、バランス制御の自動化を高めるのに対し、高齢者では、バランス課題を優先し、バランスを意識的に回復するよう努めると思われる。そのため、本研究の場合、反応課題前の COP 分散は3条件で有意差が出ない可能性があると考えられるが、その分、暗算課題の誤回答が増える可能性が考えられる。さらに、反応課題後の主動作・APAs の開始時間は、若年健常者と比較しさらに遅れ、最大上肢速度・最大 Tz にも有意差がでる可能性があると考えられる。



## 第5章 結論

本研究では、安静立位時での暗算課題が、反応課題である最大速度での一側上肢挙上と、それに伴う APAs にどのような影響を及ぼすのかを以下の 3 つの観点より検証した。

第 1 の目的として、コントロール・シングルタスク・デュアルタスクでの 3 条件で比較し、暗算課題が安静立位の安定性にどう影響するのかを検証した。

その結果、前後方向の COP(AP-COP)及び左右方向の COP(ML-COP)分散は、コントロール条件と比較してもシングルタスク条件と比較しても、デュアルタスク条件で有意に減少がみられた(図 6・図 7 参照)。

第 2 の目的として、反応課題後の APAs と主動作をシングルタスクとデュアルタスクの 2 条件で比較し、暗算課題が反応課題にどう影響するのかを検証した。

その結果、APAs としての Tz 開始時間と、主動作である右側上肢挙上開始時間は、両者ともにシングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意に遅れた (図 8・図 9 参照)。また、APAs 開始から主動作開始までの時間差もシングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意に遅れる結果となった(図 10 参照)。

最大 Tz スロープは、シングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意に減少した(図 11 参照)。

最大上肢速度と最大 Tz はシングルタスク条件と比較しデュアルタスク条件で有意差は認められなかった(図 12・図 13 参照)。

シングルタスク条件・デュアルタスク条件ともに、最大 Tz と最大 Tz スロープに、また最大上肢速度と最大 Tz スロープに正の相関がみられた(表 2 参照)。

第 3 の目的として、デュアルタスク条件下で、反応課題前と反応課題後にどのような関係性があるかを検証した。

その結果、デュアルタスク条件下における反応課題前の前後方向の COP(AP-COP)分散に対し、反応課題後の APAs である Tz 開始時間には相関がみられなかった。しかし、反応課題後での最大 Tz スロープには負の相関が、また、主動作である右側上肢挙上開始時間には正の相関がみられた(表 3 参照)。

以上から、安静立位時での暗算課題は、反応課題における主動作とそれに伴う APAs の両者ともに開始時間を遅らせ、さらに、最大 Tz スロープも緩やかにさせたが、主動作の上肢挙上速度自体は、シングルタスク条件とデュアルタスク条件で変化はなく、APAs としての機能を充分果たしていた。安定した立位姿勢が確保できれば、姿勢の自動化が行えるので、姿勢自動化の程度が主動作にも APAs にも影響を与えることが分かった。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、多くの方々のご支援を頂きました。

研究指導を頂きました筑波技術大学大学院 技術科学研究科 講師 井口 正樹先生、教授 松下 昌之助先生には、本研究の実施および修士論文の執筆にあたり、終始暖かい激励と御指導、御鞭撻を頂きました。心より厚く御礼申し上げます。

また、筑波技術大学大学院 技術科学研究科 教授 薄葉 眞理子先生には、主査として、教授 木下 裕光先生には、副査として御指導ならびに御鞭撻を頂き心より厚くお礼申し上げます。

研究遂行にあたり、日頃より有益なご助言を頂いた、筑波技術大学 保健科学部 理学療法学専攻 教授 石塚 和重先生、准教授 三浦 美佐先生、准教授 佐々木 恵美先生、助教 中村 直子先生、並びに助教 松井 康先生には、大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。

さらに、本実験を実施するにあたり、機器について御指導を頂きました、附属東西医学統合医療センター 助教 佐久間 亨先生には、大変お世話になりました。感謝申し上げます。その他、研究を進めるにあたり、貴重な御意見を頂きました、筑波技術大学の多くの先生方に心より感謝申し上げます。

また、被験者として本実験に協力して頂いた皆様に心より感謝申し上げます。

最後に、大学院へ通うことを理解し、支えてくれた家族に心より深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 西口周, 山田実, 青山朋樹. 能力評価におけるデュアルタスクの可能性 デュアルタスク下の歩行関連動作能力の評価と転倒リスク. 体育の科学 65(5):319-323, 2015
- 2) Sherrington C. The integrative action of the nervous system. Yale Univ.Press, New Haven, 1947
- 3) 細田多穂. 理学療法の基礎と評価 理学療法ハンドブック 改訂第4版. 協同医書出版株式会社 pp609, 2010
- 4) 中村隆一, 齋藤宏, 長崎浩. 基礎運動学 第6版. 医歯薬出版株式会社 pp354, 2005
- 5) Santos MJ, Kanekar N, Aruin AS. The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture: 2. Biomechanical analysis. J Electromyogr Kinesiol 20(3):398-405, 2010
- 6) Belen'kii EV, Gurfinkel' VS, Pal'tsev EI. Elements of control of voluntary movement. Biofizika 12(1):135-141, 1967
- 7) 伊藤太郎. 先行随伴性姿勢調節の機能的意義. 英和大学人文科学研究室紀要. 人間文化(9):2-57, 2005
- 8) 東隆史. 運動開始時の初期重心位置の違いが先行随伴性姿勢調節と運動成果に及ぼす影響について. 四天王寺大学紀要(49):325-353, 2010
- 9) 藤原勝夫. 講座・姿勢・4 予測性姿勢調節. PT ジャーナル 25(4):265-272, 1991
- 10) Zattar M, Bouisset S. Chronometric analysis of the posturo-kinetic programming of voluntary movement. J Mot Behav 18(2):215-223, 1986
- 11) Lee WA, Buchanan TS, Rogers MW. Effects of arm acceleration and behavioral conditions on the organization of postural adjustments during arm flexion. Exp Brain Res 66(2):257-270, 1987
- 12) Diener HC, Dichgans J, Guschlbauer B, Bacher M, Rapp H, Langenbach. Associated postural adjustments with body movement in normal subjects and patients with parkinsonism and cerebellar disease. Rev Neurol 146(10):555-563, 1990
- 13) Rogers MW, Pai YC. Dynamic transitions in stance support accompanying leg flexion movements. Exp Brain Res 81(2):398-402, 1990
- 14) Crenna P, Frigo C, Massion J, Pedotti A. Forward and backward axial synergies in man. Exp Brain Res 65(3):538-548, 1987
- 15) Crenna P, Frigo C. A motor programme for the initiation of forward-oriented movements in humans. J physiol 437:635-653, 1991
- 16) Le Pellec A, Maton B. Anticipatory postural adjustments are associated with single vertical jump and their timing is predictive of jump amplitude. Exp Brain Res 129(4):551-558, 1999

- 17) Slijper H, Latash M. The effects of instability and additional hand support on anticipatory postural adjustments in leg, trunk, and arm muscles during standing. *Exp Brain Res* 135(1):81-93, 2000
- 18) Ito T, Azuma T, Yamashita N. Anticipatory control related to the upward propulsive force during the rising on tiptoe from an upright standing position. *Eur J Appl Physiol* 92(1-2):186-195, 2004
- 19) 山下謙智. 立位つま先立ち動作における初期重心位置が反応時間及び予測性姿勢調節に及ぼす影響. 第12回日本バイオメカニクス大会論集, 1994
- 20) 東隆史. 一歩踏み出し動作における動作開始時の重心位置、動作速度、および動作開始前に現れる見越し活動の相互関係. 英知大学人文科学研究室紀要. 人間文化 1:113-125, 1998
- 21) 東隆史, 伊藤太郎, 山下謙智. 一歩踏み出し動作における運動開始時の重心位置、動作時間および運動開始前に出現する先行随伴性活動の相互関係. 体力科学 51(6):552, 2002
- 22) 丸岡祥子, 鈴木俊明. 上肢運動に際した先行随伴性姿勢調節に関する文献的研究. 関西医療大学紀要 6:116-122, 2012
- 23) Massion J. Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Prog Neurobiol* 38(1):35-56, 1992
- 24) Aruin AS, Shiratori T, Latash ML. The role of action in postural preparation for loading and unloading in standing subjects. *Exp Brain Res* 138(4):458-466, 2001
- 25) Mori S, Matsuyama K, Mori F, Nakajima K. Supraspinal sites that induce locomotion in the vertebrate central nervous system. *Adv Neurol* 87:25-40, 2001
- 26) Bleuse S, Cassim F, Blatt JL, Defebvre L, Derambure P, Guieu JD. Vertical torque allows recording of anticipatory postural adjustments associated with slow, arm-raising movements. *Clinical Biomechanics* 20(7):693-699, 2005
- 27) Zattara M, Bouisset S. Posturo-kinetic organisation during the early phase of voluntary upper limb movement. 1 Normal subjects. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 51(7):956-965, 1988
- 28) Huang M, Brown SH. Age differences in the control of postural stability during reaching tasks. *Gait Posture* 38(4):837-842, 2013
- 29) 藤原勝夫, 池上晴夫, 岡田守彦. 立位姿勢における足圧中心位置およびその規定要因に関する一考察. 姿勢研究 4:9-16, 1984
- 30) 藤原勝夫, 外山寛, 浅井仁, 山科忠彦. 急速上肢挙上時の立位姿勢調節に対する身体重心の前後方向の位置と重量負荷の影響. 体力科学 40(4):355-364, 1991
- 31) 板谷厚. 能力評価におけるデュアルタスクの可能性 デュアルタスクによるバランス能力の評価. 体育の科学 65(5):324-329, 2015
- 32) 望月久, 峯島孝雄. 重心動揺計を用いた姿勢安定性度評価指標の信頼性および妥当性. 理学療法学 27(6):199-203, 2000

- 33) Fraizer EV, Mitta S. Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-tasking in upright stance. *Gait Posture* 27(2):271-279, 2008
- 34) Yamada M, Aoyama T, Arai H, Nagai K, Tanaka B, Uemura K, Mori S, Ichihashi N. Dual-task walk is a reliable predictor of falls in robust elderly adults. *J Am Geriatr Soc* 59(1):163-164, 2011
- 35) Chu YH, Tang PF, Peng YC, Chen HY. Meta-analysis of type and complexity of a secondary task during walking on the prediction of elderly falls. *Geriatri Gerontol Int* 13(2):289-297, 2013
- 36) Vuillerme N, Nougier V. Attentional demand for regulating postural sway: the effect of expertise in gymnastics. *Brain Res Bull* 63(2):161-165, 2004
- 37) Pellecchia GL. Postural sway increases with attentional demands of concurrent cognitive task. *Gait Posture* 18(1):29-34, 2003
- 38) Vuillerme N, Vincent H. How performing a mental arithmetic task modify the regulation of centre of foot pressure displacements during bipedal quiet standing. *Exp Brain Res* 169(1):130-134, 2006
- 39) Donker SF, Roerdink M, Greven AJ, Beek PJ. Regularity of center-of-pressure trajectories depends on the attention invested in postural control. *Exp Brain Res* 181(1):1-11, 2007
- 40) 有働直美, 村山伸樹, 林田祐樹, 伊賀崎伴彦, 近藤裕一. 低出生体重児の生理機能データに関する非線形的解析の検討. 平成 19 年度 電気関係学会九州支部連合大会 07-1P-04, 2007
- 41) Jones P, Sorinola I, Strutton PH. Effect of dual tasking on postural responses to rapid lower limb movement while seated on an exercise ball. *Gait Posture* 40(2):297-304, 2014
- 42) Jacobs JV, Kasser SL. Effects of dual tasking on the postural performance of people with and without multiple sclerosis: a pilot study. *J Neurol* 259(6):1166-1176, 2012
- 43) Stroop JR. Studies of interference in serial verbal reactions. *J Exp Psychol Gen.* 28:643-662, 1935.
- 44) Melzer I, Liebermann DG, Krasovsky T, Oddsson LI. Cognitive load affects lower limb force-time relations during voluntary rapid stepping in healthy old and young adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 65(4):400-406, 2010
- 45) Melzer I, Oddsson LI. The effect of a cognitive task on voluntary step execution in healthy elderly and young individuals. *J Am Geriatr Soc* 52(8):1255-1262, 2004
- 46) 歩行、重心動揺解析用可搬式多成分フォースプレート型式：9260AA 取扱説明書
- 47) マイクロストーン株式会社. “MP3 シリーズ モーションセンサ事業 MP-G3/MP-M6 シリーズ” <http://www.microstone.co.jp/product/motion-MP-G3b.html> (参照 2016-02-09)