

パイロットの耐G性向上を目指して

—科学的トレーニング及び装備品改良—

丸山 聡¹⁾²⁾、高畑智文³⁾、東海林一郎⁴⁾、眞鍋知子⁵⁾、西田育弘¹⁾
防衛医科大学校生理学¹⁾、航空自衛隊航空医学実験隊²⁾、航空自衛隊中部警戒管制団³⁾
航空自衛隊第11飛行教育団⁴⁾、防衛医科大学校衛生学公衆衛生学⁵⁾

はじめに

戦闘機パイロットが旋回時に受ける遠心加速度 ($+G_z$) は、静脈還流量の減少をきたしその結果として視力低下¹⁾、意識喪失 ($G-LOC$)¹⁾及び中枢神経障害^{2)~4)}を引き起こす。この防護対策として使用される耐Gスーツと耐G動作は $+G_z$ 耐性を上げることが知られている⁵⁾⁶⁾。航空自衛隊では、立川及び入間基地に所在する航空医学実験隊において航空生理訓練と耐Gスーツの性能向上に関する調査を中心に $G-LOC$ に起因する事故防止の中心的役割を担っている。一方、防衛医科大学校ではヒト用の加速度訓練装置を模した小動物用加速度負荷装置を製作した。本装置により、ヒトでは決して実施することのできない方法や条件で実験を行うことで、 $+G_z$ 負荷と生体反応に関する詳細な知見を得ることが可能となった。本稿は、この小動物用加速度負荷装置をもちいて行われた研究成果の一部を紹介するものである。

小動物用加速度負荷装置概要

$+G_z$ 負荷には小動物用加速度負荷装置 (トミー精工) を用いた。本装置は4つのアームを持ち、その1対は水平なテーブル状となっている。テーブルに伏臥位の動物の頭部を中心に向けて固定すると、遠心加速度を頭部から尾部方向への重力として負荷することが可能となる。また、このアームの片側にはラットの腹部及び下肢を圧迫できるようにデザインされたラット用耐Gスーツ (藤倉航装)、Gバルブ (島津製作所) 及び高压空気シリンダーからなる耐G装置を装備している。本装置の最大回転数は1分間あたり90回転で、最大 $+9G$ を負荷することができる。

$+G_z$ 負荷の生体影響

ラットに立ち上がりの遅い $+G_z$ 負荷を行った際の脳血圧 ($APBr$) 変化と耐Gスーツ圧の関係を図1に示す。 $APBr$ は負荷の増大に伴って徐々に減少する。しかし、負荷が約 $+2G_z$ に達して耐Gスーツが作動し始めると上昇に転じ、コントロール時の値近くにまで復帰する。 $+G_z$ 負荷がプラトーに達すると血圧値もほぼ一定となるが、 $+G_z$ 負荷が減少し始めると $APBr$ も減少を始め約 $+2G_z$ 時点で再び上昇に転じ、負荷終了後にはコントロール値付近にまで復帰した。このように、立ち上がりの遅い $+G_z$ 負荷を与えること

により、APBr は耐Gスーツ作動直前と直後、2回の低下が認められた。これら2回の APBr 低下時の負荷G値と耐Gスーツ圧はほぼ一緒であるにもかかわらず、APBr 値はG負荷低下時のもののほうが低値を示した。このような変化は+3Gz 負荷時には認められなかった。この差が何故起きたのか調べるため、APBr の他中心静脈圧 (CVP)、心拍数 (HR)、心拍出量 (AoBF)、総末梢血管抵抗 (TPR) 及び腎交感神経活動 (RSNA) の記録をおこない解析した。耐Gスーツ作動直前と直後に認められた APBr 低下ピークと同時期の各測定値を比較したものを図2に示す。AoBF はGz 負荷増加時と降下時に認められた APBr 低下のピークと同時期の値には差が認められなかった。そこで総末梢血管抵抗を求めたところ、APBr の低下がみられた同時期の値に差が認められ、Gz 負荷降下時により TPR が低下することがわかった。RSNA は+Gz 負荷が大きくなり APBr が低下すると増加した。APBr の低下が認められた同時期の RSNA 値を比較すると、Gz 負荷降下時に有意な増加が認められたことから、圧受容器の反応性はGにより低下しないものと考えられた。以上の結果から、+5Gz 負荷を与えた場合、負荷が減少し耐Gスーツ圧が低下した時に、生体は主に TPR が減少することで、血压低下を起しやすくなる状態となることが示唆された。これらの成果は、加速度訓練教育の新しい知見となりえることに加え、より効果的な耐G装置の開発に利用できると考えられる。

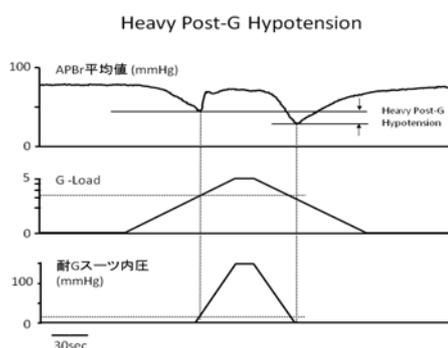


図1 ラットに、ゆっくりとした立ち上がりで負荷をおこない、+5Gzで15秒間維持した後、立ち上がりと同じレートで減少させた時の APBr、G-Load、耐Gスーツ内圧の経時的変化を示す。APBr は7例の平均値。図が煩雑になるため SE は省略している。+Gz 負荷降下時に Heavy Post-G Hypotension が認められる。

Post Anti-G Hypotension 発生時の生体影響の比較

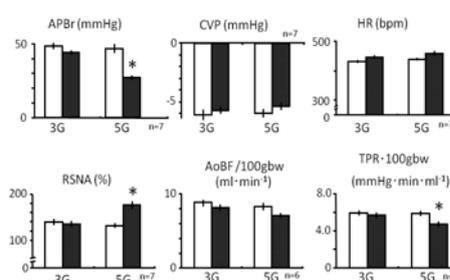


図2 ラットに 3Gz 又は 5Gz を負荷した際の、負荷上昇及び降下中に見られる APBr 低下のピークと同時期の CVP、HR、RSNA、AoBF、TPR 値を示す。3Gz 負荷ではすべての値に差は認めなかったが、5Gz 負荷では APBr、RSNA、TPR に有意差が認められた。
Mean ± SE. * = P < 0.05. Two way ANOVA followed by Tukey-Kramer test.

トレーニング効果と嘔みしめ効果

トレーニングが耐G性を向上させるかという観点から2つの実験を行った。ひとつは、繰り返しの+Gz 負荷がラットの脳酸素分圧に与える影響についてであり、もう一つは嘔みしめが脳血压に与える影響についてである。それぞれの結果を図3に示す。あらかじめラットに+1.5Gz という軽い負荷を繰り返し経験させると、効果には部位差が存在するが、させないものに比べ、負荷時の脳酸素分圧の低下が軽減されることが示唆された (図

3左)。一方、負荷中に咬筋を電気刺激することで繰り返しの噛みしめを行わせると脳レベル血圧が増加したが、筋弛緩薬であるダントロレンを投与することでこの効果は消失した。このことから、咬筋の断続的収縮は血圧増加を引き起こすことが示唆された (図 3 右)。これらの結果は、効率的な訓練方法の開発や、確実な噛みしめ効果を引き出すための耐G動作及び補助具 (マウスピース) の開発のための基礎的資料となる。

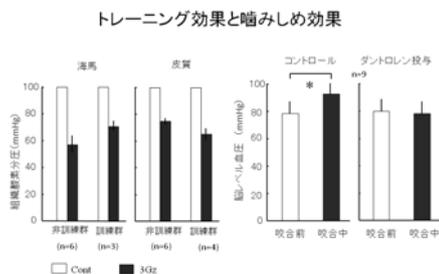


図 3 左は、脳の組織酸素分圧を指標としたトレーニング効果。海馬の酸素分圧にトレーニング効果と考えられる Gz 負荷による低下の抑制が認められる。右は、咬筋の電気刺激による断続的な噛みしめの脳血圧への影響。噛みしめは脳血圧を有意に増加させるが、その効果はダントロレンにより抑制される。Mean ± SE. * = P < 0.05. Paired t-test.

おわりに

本研究は、防衛医学推進研究 (スポーツ及び訓練) の一部として実施された。耐G性の向上は、航空 (戦闘) 機の高性能化が進む限り航空医学分野における重要な課題となる。我々は飛行安全と操縦者の健康の両面からこれらの問題解決に向けて研究を進めていく。

文 献

1. Burton RR and Whinnery JE. Biodynamics: Sustained acceleration. In: Dehart LR, Davis RJ, eds. Fundamentals of Aerospace Medicine. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2002. p. 122-53
2. Jones DR. A review of central nervous system effects of G-induced loss of consciousness on volunteer subjects. Aviat Space Environ Med 1991; 62: 624-7
3. Lambert EH and Wood EH. The problem of blackout and unconsciousness in aviators. Med Clin North Am 1946; 30: 833-44
4. Whinnery JE. Medical considerations for human exposure to acceleration-induced loss of consciousness. Aviat Space Environ Med 1991; 62: 618-23
5. Parkhurst MJ, S.D. Leverett, Jr. and S.J. Shubrooks, Jr. Human tolerance to high sustained +Gz acceleration. Aerospace Med 1972; 43: 708-12.
6. Burton RR and Whinnery JE. Biodynamics: Sustained acceleration. In: Dehart LR, Davis RJ, eds. Fundamentals of Aerospace Medicine. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2002. p.147