

ZUR FRAGE DER AUSWAHLMETHODEN FÜR BESATZUNGEN UNKONVENTIONELLER FLUGKÖRPER

Von S. RUFF

Aus dem Institut für Flugmedizin der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt
Bad Godesberg (Leiter: Professor Dr. med. S. Ruff)

SCHON beim Fliegen moderner Hochleistungsflugzeuge, erst recht aber bei unkonventionellen Flugkörpern können die Besatzungen zunehmend physiologischen Belastungen wie Beschleunigung, Hitze, Kälte, Störungen des Lebensrhythmus, Sauerstoffmangel usw. sowie zahlreichen psychischen Belastungen ausgesetzt sein, die die Regelbreite des Organismus oder einzelner seiner Organsysteme voll ausschöpfen oder unter Umständen sogar überschreiten. Die bekannterweise individuell verschiedene psychische und physische Belastbarkeit der Menschen führt immer dringlicher zu der Aufgabe, bei den Besatzungen solcher Flugzeuge und Flugkörper—neben der reinen Gesundheitsuntersuchung—diese Belastbarkeit möglichst objektiv zu erfassen, um so die leistungsfähigen von den weniger leistungsfähigen Probanden trennen zu können.

Man kann zu diesem Zweck, wie dies z.B. für das amerikanische Mercury-Projekt der Fall war, die Prüflinge nacheinander oder in verschiedenen Kombinationen unter den zu erwartenden oder möglichen Belastungen prüfen, um sich so sozusagen empirisch ein Bild über ihre Belastbarkeit zu verschaffen. Dieses Verfahren ist aber umständlich, zeitraubend und verlangt einen sehr grossen apparativen Aufwand.

An unserem Institut (Brüner, Dietmann, Jovy, Klein u.a.) wurde ein völlig anderer Weg zur Bestimmung der Belastbarkeit gewählt. Eine einzige Belastung, Sauerstoffmangel in der Einatemungsluft von ausreichender Stärke, dient der Ermittlung zum mindesten eines grossen Teiles der physiologischen Regulationsmöglichkeiten und damit der Belastbarkeit.

Bei der Ausarbeitung der Methodik wurde von der Überlegung ausgegangen, dass jede organisch-funktionelle Leistung, abgesehen von ihrer morphologisch bedingten Grösse, durch die Sauerstoffversorgung der Gewebe bestimmt und begrenzt wird (U. Luft). Sauerstoffmangel in der Einatemungsluft müsste daher als unspezifische Belastung (Stressor)

die vegetativ gesteuerten Regulationsvorgänge des Organismus, von denen die Belastbarkeit abhängt, in einem weiten Bereich ansprechen, und somit auch deren Wirksamkeit der Prüfung zugänglich machen. Das Ergebnis dieser Prüfung unter O_2 -Mangel müsste also, was das wichtigste ist, daher auch für andere Belastungsarten—nicht nur für den O_2 -Mangel—Gültigkeit besitzen.

Unsere Untersuchungen selbst erfolgten wie üblich in einer Unterdruckkammer in 7500 m Höhe (einem inspiratorischen Sauerstoffdruck von 50,4 Torr entsprechend) im Höhenlageversuch. Um den an sich bekannten Leistungsabfall im Sauerstoffmangel objektiv registrieren zu können, wurde dazu von Brüner ein Verfahren, Kugeltest genannt, entwickelt, das die psychomotorische Leistung als Kriterium verwendet, für die das Koordinationsvermögen, d.h. die Fähigkeit, gezielte Muskelbewegungen rasch und sinnvoll auszuführen, eine wesentliche Rolle spielt. Bei diesem Verfahren haben die Probanden die Aufgabe, aus einem Vorrat, Kugeln verschiedenen Durchmessers in die jeweils passenden Löcher einer sich drehenden Walze einzulegen. Diese Löcher werden nacheinander freigegeben und bleiben 2 Sekunden offen. Jede richtig eingelegte Kugel wird

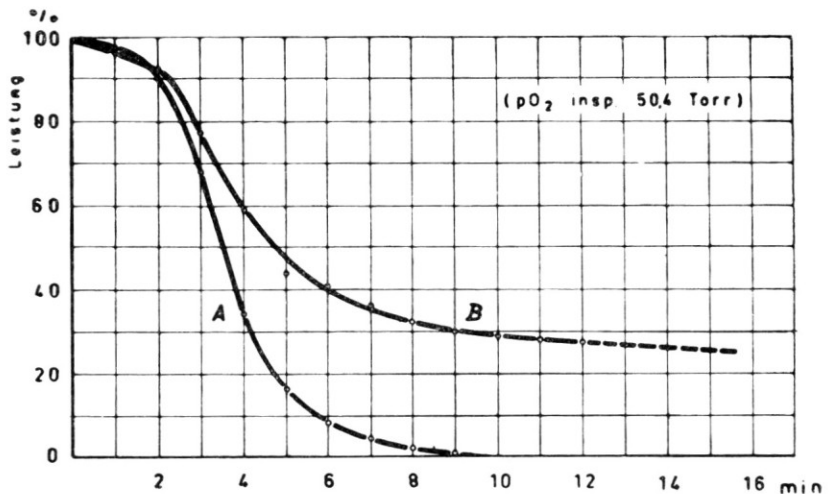


ABB. 1. Leistungsabnahme bei den Typen A und B im Sauerstoffmangel bei 50,4 Torr (Höhenlageversuch).

registriert, 30 pro Minute ergeben eine Leistung von 100%, die gestellte Aufgabe ist damit voll erfüllt. Unabhängig von Alter und Beruf wird in Meereshöhe diese geforderte Leistung praktisch von allen Probanden nach 10 bis 12 Minuten Übung erfüllt. (Film)

Bei den so im Sauerstoffmangel untersuchten Probanden, deren Zahl mehrere Tausend erreicht hat, fanden sich 2 Typen (Abb. 1). Die eine

davon (A) mit einem schnellen Verfall, d.h. mit einem schnellen Versagen der Regulationen, mit einer schlechten Belastbarkeit dem Sauerstoffmangel gegenüber. Der andere Typ (B) zeigte einen langsameren Leistungsverfall als Zeichen gut ausgeprägter Regulationen mit vergleichsweise grosser Regelbreite. Die Gesamtergebnisse wiesen eine Altersabhängigkeit mit Zunahme der Belastbarkeit bis zum Beginn des 5. Lebensjahrzehnts (Abb. 2) und einer ebenfalls statistisch gesicherten Abhängigkeit von vegetativ-nervösen Funktionsstörungen auf.

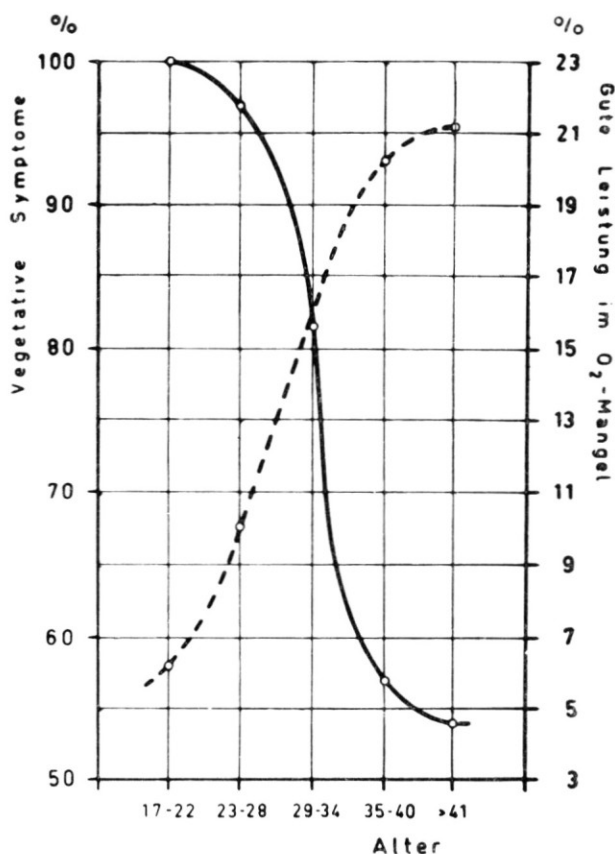


ABB. 2. Abhängigkeit der Sauerstoffmangeltoleranz vom Alter und neuro-vegetativen Symptomen.

Die häufig zur Beurteilung der Belastbarkeit im Sauerstoffmangel herangezogenen Grössen von Kreislauf und Atmung, die Zahl der roten Blutkörperchen und der Gehalt des Blutes an Blutfarbstoff liessen dagegen keinen Unterschied bei den beiden Gruppen erkennen, wenn man von einer kleinen Zahl ungewöhnlich schlecht belastbarer Prüflinge absieht,

die mit einem sogenannten Fröhkollaps auf die Belastung reagierten (Abb. 3).

Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, dass auch bei demselben Menschen die Widerstandsfähigkeit gegenüber Belastungen ganz allgemein nicht konstant ist, sondern z.B. im Anschluss an Infektionskrankheiten, unter dem Einfluss von Giften (z.B. Alkohol), bei Schlafmangel usw. herabgesetzt ist. Auch für den Sauerstoffmangel ist diese Abhängigkeit seit langem bekannt; das von Brüner angegebene Verfahren ermöglichte

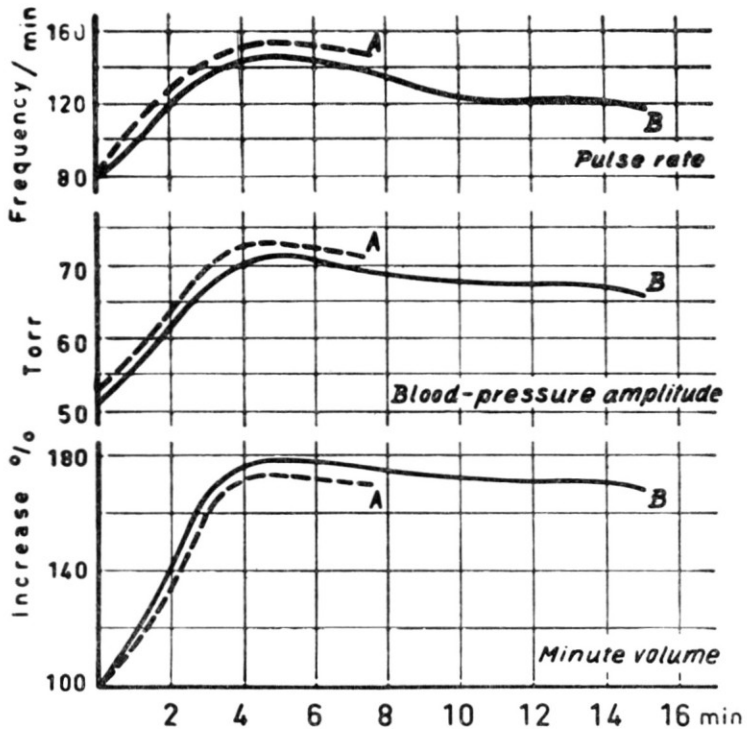


ABB. 3. Reaktion von Herz und Kreislauf im Sauerstoffmangel (50,4 Torr) bei den Typen A und B.

ihre Objektivierung. Drei praktische Beispiele mögen dies erhärten (Abb. 4). Ein Flugzeugführer zeigte im Anschluss an eine länger dauernde fieberhafte Erkrankung (Pfeiffer'sches Drüsenfieber) im Sauerstoffmangel einen Leistungsabfall, der ihn als ausserordentlich wenig belastungsfähig auswies. Obwohl keine der klinischen Untersuchungen eine verwertbare Abweichung von der Norm ergaben, wurde ihm die Genehmigung zur Wiederaufnahme seiner fliegerischen Tätigkeit verweigert, ein weiterer Erholungsaufenthalt von etwa 6 Wochen verordnet und später

erneut untersucht. Die Kontrolle ergab zu diesem Zeitpunkt eine gute O_2 -Mangel-Resistenz. Der nächste Fall (Abb. 5) betraf einen Flugschüler, der mit einem Sportflugzeug bei einer Notlandung Bruch machte. Er wurde mit einer leichten Gehirnerschütterung und geringfügigen Risswunden ins Krankenhaus eingewiesen. Die Gehirnerschütterung wurde,

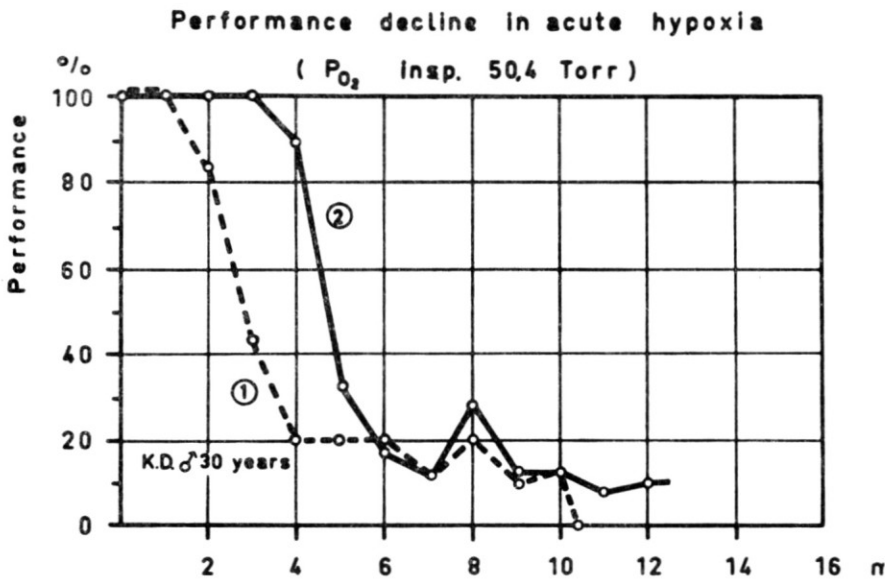


ABB. 4. Leistungsabfall im Sauerstoffmangel (50,4 Torr) kurz nach überstandenem Pfeiffer'schen Drüsenfieber und 3 Monate später.

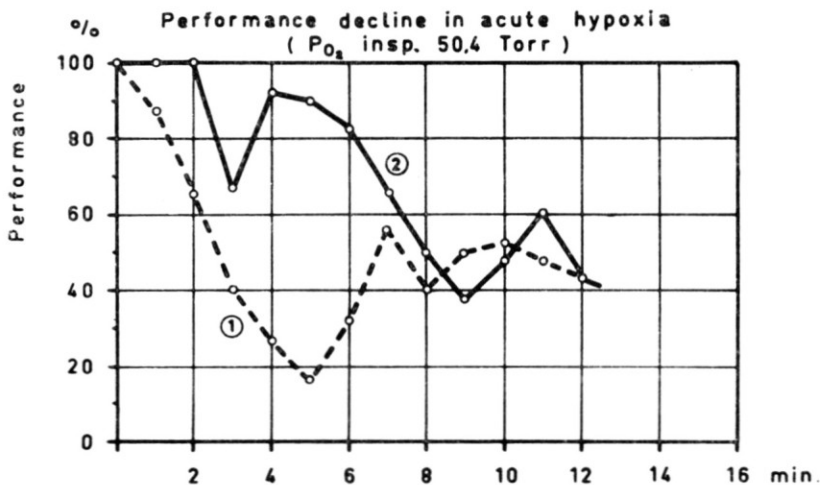


ABB. 5. Leistungsabfall im Sauerstoffmangel (50,4 Torr) 5 Wochen nach einer Commotio cerebri und 2 Monate später.

obwohl sie leicht war, mit 3 Wochen Bettruhe behandelt; die Beschwerden waren nach wenigen Tagen bereits verschwunden. Im Anschluss an den Krankenhausaufenthalt und 14 Tage Erholungsurlaub kam er zur Nachuntersuchung. Die klinische Untersuchung ergab lediglich eine gegenüber den früheren Untersuchungen leicht gesteigerte vegetative Labilität, die Untersuchung im Sauerstoffmangel eine sehr schlechte Sauerstoffmangelresistenz. Eine Kontrolluntersuchung nach 8 Wochen zeigte dagegen ein sehr viel besseres Leistungsbild mit einer erheblich über dem Durchschnitt liegenden Widerstandsfähigkeit gegenüber Sauerstoffmangel. Als letztes Beispiel (Abb. 6) noch ein Fall, bei dem im Anschluss an einen

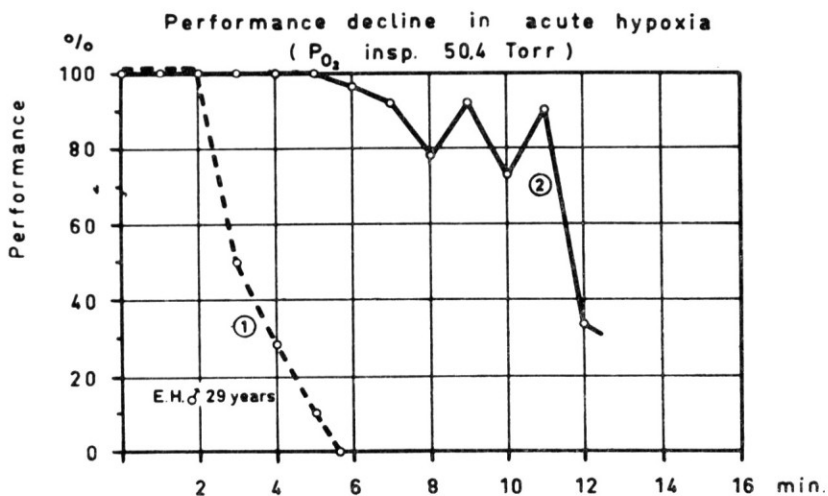


ABB. 6. Leistungsabfall im Sauerstoffmangel (50,4 Torr) nach einem anstrengenden Lehrgang und Leberaffektion.

strapaziösen Lehrgang mit vergleichsweise wenig Schlaf im Sauerstoffmangel untersucht wurde. Wiederum ergab sich eine sehr schlechte Belastbarkeit, bei der Kontrolle nach 3 Monaten dagegen, eine besonders gute Resistenz. Neben dem strapaziösen Lehrgang hatte in diesem Fall noch irgendeine Leberaffektion eine Rolle gespielt. Das Bilirubin im Blut war bei der ersten Untersuchung deutlich erhöht.

Im Schrifttum der letzten Jahre sind nun vor allem durch die Arbeiten von Selye, Thorn, Sayers u.a. Reaktionen des Organismus bekannt geworden, die bei Belastung,—im sogenannten Stress—, von der Hypophyse ausgelöst und von der Nebennierenrinde durch Ausschüttung ihrer Hormone gesteuert werden. Diese, noch bei weitem nicht in allen Einzelheiten bekannten Reaktionen haben allein oder in Gemeinschaft mit anderen parallel laufenden Reaktionen die Aufgabe, den Organismus an die jeweilige Belastung, wie z.B. Temperatur, Gifte, Krankheitserreger usw.,

anzupassen. Ihre Bedeutung für einige fliegerische Belastungen, wie z.B. den Langstreckenflug und den Hochgeschwindigkeitsflug, sind von einigen Autoren (Gofton, Dempsey, Murphy, Marchbanks) und in neuester Zeit von Hale und Hoagland diskutiert worden.

Nachdem das Verhalten von Kreislauf und Atmung, wie bereits erwähnt, bei schlecht und gut belastbaren Prüflingen im O₂-Mangel keinen erklärenden Unterschied für deren Verhalten zeigte, wurde vermutet, dass in der Reaktion des Hypophysen-Nebennierenrinden-Systems Unterschiede zwischen beiden Gruppen bestehen müssen. Abb. 7 zeigt das sehr vereinfachte Wirkungsschema dieses Systems.

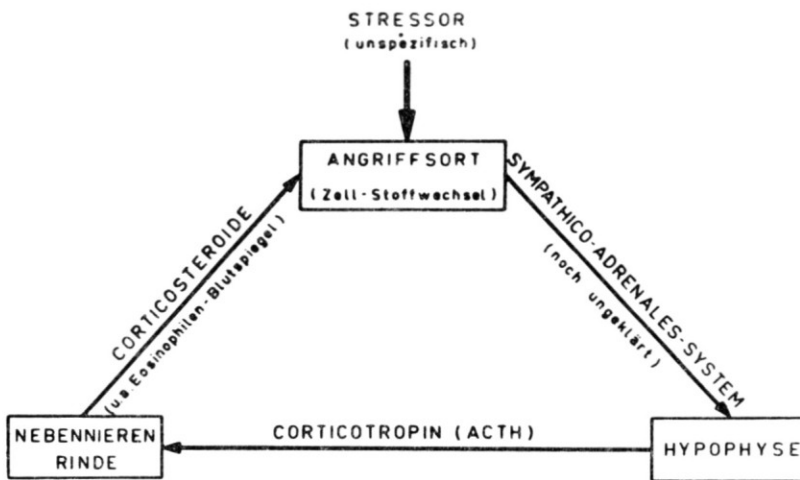


ABB. 7. Vereinfachte Darstellung der funktionellen Zusammenhänge zwischen Stressor und Hypophysen-Nebennierenrindensystem.

Eine verhältnismässig einfache Untersuchungsmethode erlaubt nun, die Aktivierung der Nebennierenrinde und die Ausschüttung ihrer Hormone zu mindest orientierend zu erfassen. Es ist dies die Bestimmung der Zahl der im Blut vorhandenen Eosinophilen. Nach Aktivierung der Nebennierenrinde und Ausschüttung ihrer Hormone sinkt die Zahl dieser Eosinophilen im Blut ab. Vergleicht man nun diesen Abfall bei unseren beiden Typen A und B nach der Sauerstoffmangelbelastung, so finden sich (Abb. 8), wenn die Einwirkungszeit der Belastung bei allen Versuchspersonen gleich gewählt wird, signifikante Differenzen zwischen beiden Reaktionstypen. Bei den von uns als B-Typen benannten, also den besser belastbaren Probanden, findet sich gegenüber den A-Typen ein geringeres Absinken der Eosinophilen und ein früheres Wiederansteigen, das man, wie zur Kontrolle durchgeführte Hormonbestimmungen im Blut ergaben (Abb. 9), auf die Aktivierung der Nebennierenrinde zurückführen muss.

Der Sauerstoffmangel wirkt also wie andere unspezifische Belastungen nicht direkt auf die Nebenniere, sondern dieses Organ wird über die Vermittlung von Rezeptoren und Hypophyse mittelbar aktiviert. Dabei

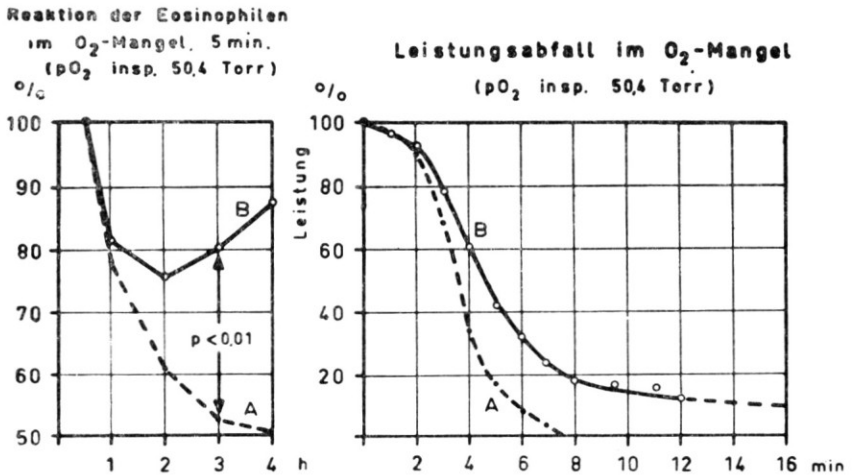


ABB. 8. Leistungsabfall im Sauerstoffmangel (50,4 Torr) und Reaktion der Eosinophilen bei den Typen A und B.

hängt die Stärke der Ausschüttung der Nebennierenrindenhormone von der Empfindlichkeit des betroffenen Organismus gegenüber der Belastung, gegenüber dem Stress, ab. Je grösser die Empfindlichkeit des betroffenen Organismus, umso mehr besteht die Notwendigkeit einer stärkeren

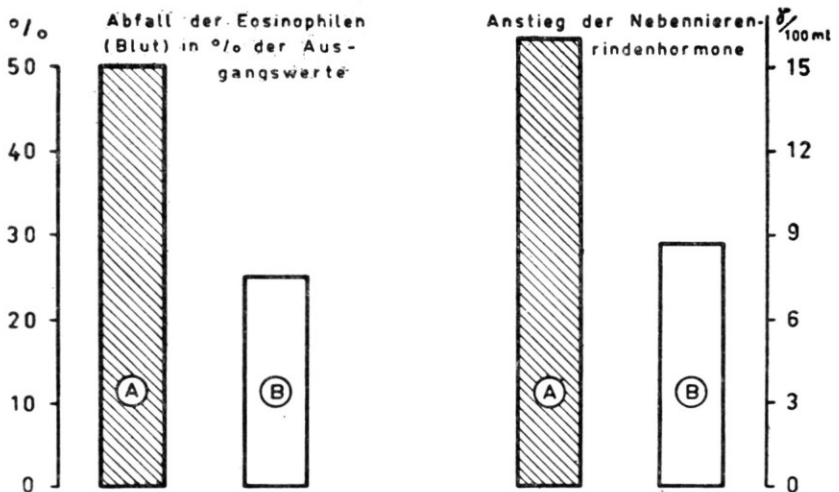


ABB. 9. Reaktion der Eosinophilen und der Nebennierenrindenhormone im Sauerstoffmangel (50,4 Torr, 5 min.) bei den Typen A und B.

Aktivierung der Nebennierenrinde. Die bekannte und auch für den Sauerstoffmangel beobachtete Verschlechterung der Belastbarkeit eines Menschen nach interkurrenten Erkrankungen und bei starker Ermüdung ist mit einer Verstärkung der Empfindlichkeit gegenüber der Belastung (Stressempfindlichkeit) zu erklären.

Wird, wie bereits einleitend bemerkt, von der Voraussetzung ausgegangen, dass alle oder ein grosser Teil der Belastungen ihre Grenze in einer Störung der Sauerstoffversorgung und damit der oxydativen Vorgänge in der Zelle finden, und berücksichtigt man die unterschiedliche Reaktionsweise der Nebennierenrinde bei unseren Typen A und B im

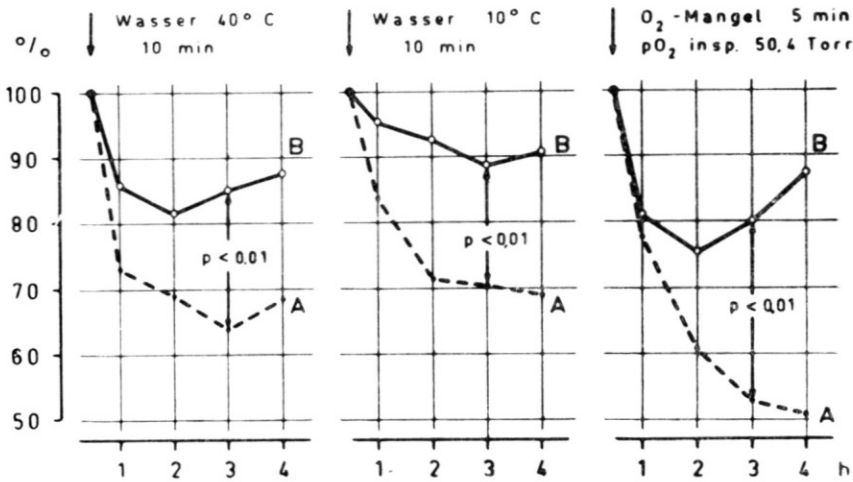


ABB. 10. Reaktion der Eosinophilen bei der gleichen Versuchsperson und verschiedenen Belastungen.

Sauerstoffmangel, so liegt der Schluss nahe, dass die im Sauerstoffmangel gefundene Belastbarkeit auch gegenüber anderen unspezifischen Belastungen vorhanden sein muss. Die Untersuchung der gleichen Personen unter Hitze, Kälte, und Sauerstoffmangel bestätigte bisher diese Überlegungen, wie aus der Abb. 10 hervorgeht. Die beiden Typen A und B, also die gut und schlecht belastbaren, finden sich auch unter den anderen Belastungen wieder. Dass auch die fliegerische Tätigkeit ganz allgemein mit ihren zahlreichen psychischen und physischen Belastungen, die im einzelnen häufig kaum voneinander zu trennen sind, zur Gruppe der unspezifischen Belastungen gehört, bei deren Bewältigung das Hypophysen-Nebennierenrinden-System eine massgebende Rolle spielt, zeigten erst jüngst Untersuchungen von Hale und Mitarbeitern in USA, die nachweisen konnten, dass es bei Piloten von Düsenflugzeugen allein durch einen Flug von 50

Minuten Dauer zu einer Erhöhung der Nebennierenrindenhormone im Blut kommt.

Zusammenfassend glauben wir aus den Ergebnissen unserer Untersuchungen und denen der "Stressforschung" folgern zu dürfen, dass es bei der Auswahl von Besatzungen für unkonventionelle Flugkörper, soweit sich diese Auswahl auf deren Belastbarkeit erstreckt, nicht erforderlich ist, sie allen zu erwartenden oder möglichen Belastungen zur Prüfung auszusetzen. Es genügt, sie einer unspezifischen Belastung zu unterwerfen, um daraus auf die Wirkung zahlreicher anderer Belastungen schliessen zu können. Als Prüfungsbelastung bietet sich hierfür der inspiratorische Sauerstoffmangel an. Seine Wirkung auf die menschliche Leistung lässt sich leicht und schnell objektiv ermitteln, und für den Probanden ist diese Prüfung nicht unangenehm, wie z.B. in Hitze oder Kälte. Der zeitliche Aufwand ist so gering, maximal etwa eine halbe oder drei Viertel Stunde, so dass beim Einsatz in unkonventionellen Flugkörpern noch am Tage vorher überprüft werden kann, ob der betreffende auch tatsächlich noch die vor und während seiner Ausbildung festgestellte Belastbarkeit beim Einsatz besitzt und sie nicht etwa in der Zwischenzeit durch irgendwelche Ereignisse beeinträchtigt worden ist.

LITERATURVERZEICHNIS

1. BRÜNER, H., Symposium über Fliegertauglichkeitsfragen DVL-Bericht Nr. 59. Köln: Westdeutscher Verlag, März 1958.
2. BRÜNER, H. u. K. DIETMANN, *Int. Z. angew. Physiol.* **17**, 144, 1958.
3. BRÜNER, H., K. DIETMANN u. K. E. KLEIN, *Int. Z. angew. Physiol.* **18**, 1959.
4. BRÜNER, H., K. DIETMANN u. K. E. KLEIN, DVL-Bericht Nr. 125. Köln: Westdeutscher Verlag, Juni 1960.
5. BRÜNER, H., K. E. KLEIN and D. JOVY, V. European Congress of Aviation Medicine, London, 29.8.-2.9.1960.
6. DEMPSEY, CH. A., Th. H. GREINER, N. R. BURCH, D. CHILES and J. STEEL, *J. Aviat. Med.* **27**, 18, 1956.
7. GOFTON, J. P. and S. D. McGRATH, *J. Aviat. Med.* **24**, 107, 1953.
8. GOFTON, J. P., B. F. GRAHAM, S. D. McGRATH and B.A. CLEGHORN, *J. Aviat. Med.* **24**, 123, 1953.
9. HALE, H. B., J. E. ELLIS and C. H. KRATOCHVIC, *J. appl. Physiol.* **14**, 629, 1959.
10. HOAGLAND, H., J. R. BERGEN, E. BLOCH, F. ELMADJIAN and N. R. GIBREE, *J. appl. Physiol.* **8**, 149, 1955.
11. KLEIN, K. E., H. BRÜNER and D. JOVY, II. Internat. Symposium on Submarine and Space Medicine. Stockholm, 18/19 August 1960.
12. KLEIN, K. E., H. BRÜNER and D. JOVY, V. European Congress of Aviation Medicine. London, 29.8.-2.9.1960.
13. LUFT, U. C., *Ergebn. Physiol.* **44**, 256, 1941.
14. MARCHBANKS, V. H., *J. Aviat. Med.* **29**, 676, 1958.

15. MURPHY, C. W., J. P. GOFTON and R. A. CLEGHORN, *Canad. J. Biochem. Physiol.* **34**, 534, 1956.
17. RUFF, S., Symposium über Fliegertauglichkeitsfragen DVL-Bericht No. 59. Köln: Westdeutscher Verlag, März 1958.
18. SAYERS, G., *Amer. J. Med.* **10**, 539, 1951.
19. SAYERS, G., *Physiol. Rev.* **30**, 241, 1950.
20. SELYE, H., *The Physiology and Pathology of Exposure to Stress*, Montreal 1950.
21. THORN, G. W., *Nebennierenrindeninsuffizienz*, Bern-Stuttgart 1953.