

COMPORTEMENT DE QUELQUES FONCTIONS PERCEPTIVO-MOTRICES PENDANT LE PASSAGE D'ENVIRON 2 à 0 G ET INFLUENCE DE L'ENTRAÎNEMENT — EXPERIENCES EFFECTUÉES AVEC LA TOUR DE SOUS-PESANTEUR

Par T. LOMONACO, A. SCANO et F. ROSSANIGO

Direction Générale de Santé de l'Aviation Italienne
(Directeur Général: Lt. Gén. Méd. Prof. T. Lomonaco)
Centre d'Études et de Recherches de Médecine Aéronautique — Rome
(Directeur: Lt. Col. Méd. Prof. A. Scano)

1. INTRODUCTION ET BUT DE LA RECHERCHE

LA connaissance des phénomènes provoqués chez l'homme par le passage d'accélération de différents types à la zéro-pesanteur, et de celle-ci nouvellement à l'hypergravité, devient toujours plus intéressante relativement aux mouvements prévus dans le pilotage des véhicules spatiaux.

Les recherches sur ce sujet ne sont pas nombreuses. Parmi les premières observations on peut citer celles de von Beckh⁽¹⁾, qui remarqua que des sujets, soumis à des accélérations positives après une période de sous-pesanteur en vol parabolique, en ressentaient des effets plus accentués, consistants en des troubles et vision noire plus précoces et durables.

Des expérimentateurs russes⁽²⁾ observèrent que le retour aux conditions cardio-circulatoires normales chez l'animal soumis à une accélération suivie de sous-pesanteur prolongée, survient dans un temps triple par rapport de celui nécessaire lors d'une accélération égale suivie de la gravité terrestre normale.

Von Beckh⁽³⁾ a effectué une série d'épreuves (environ 200 vols) en soumettant des pilotes à des accélérations positives jusqu'à 6 g après 35-45 secondes de zéro-pesanteur, confirmant de la sorte et d'une manière bien documentée une diminution nette de tolérance pour des accélérations après une telle condition. Même le réveil soudain de sujets en sous pesanteur était associé avec une intense et pénible désorientation.

Von Diringshofen^(4, 5) en comparant les effets décrits chez l'homme soumis à zéro-pesanteur au moyen des trois méthodes connues (vols paraboliques, immersion dans l'eau, tour de sous-pesanteur) a souligné

l'importance de la vitesse de passage de hyper- à sous-pesanteur et vice-versa comme un facteur non négligeable à l'égard de l'ensemble des effets eux-mêmes.

Nous avons, nous aussi, effectué diverses recherches en imaginant pour le but un dispositif, la tour de sous-pesanteur, laquelle permet le passage d'accélération de 2-3 g à sous- et zéro-pesanteur, et la permanence dans cette condition pendant quelques secondes, et, surtout, qui permet une facile et continue observation du sujet et le recueil des données physiologiques dans la phase de transition et pendant la zéro-pesanteur.

La première investigation, effectuée en 1957⁽⁶⁾, visait à explorer la coordination entre la fonction visuelle et celle motrice et démontra que dans le passage de 3 à 0 g, et dans cette dernière condition, les 30 sujets normaux examinés présentaient une légère, mais évidente incoordination motrice; en outre, presque tous les sujets éprouvèrent une sensation de lévitation pendant la sous-pesanteur, une augmentation du tonus musculaire et diverses sensations désagréables. Cinq sujets, soumis à des épreuves successives, montrèrent une amélioration lors de l'exécution du test de coordination et des troubles subjectifs moins graves.

Une seconde recherche⁽⁷⁾ démontra que des sujets sourd-muets, chez lesquels on s'était assuré de l'absence de la fonction du labyrinthe, ne présentaient pas l'incoordination et les troubles rencontrés chez les normaux. Dans les mêmes recherches on a pu observer, sur quelques tracés effectués chez des sujets normaux, des modifications morphologiques de l'électrocardiogramme consistantes en une légère déviation de l'axe électrique en phase avec les variations de gravité.

Successivement⁽⁸⁾ nous avons essayé d'examiner à fond les effets possibles sur les deux secteurs fonctionnels du vestibule par l'enregistrement de l'électronystagmogramme pendant les lancements dans la tour. Les résultats démontrèrent que la sous-pesanteur, même si précédée d'accélération linéaires, ne provoque pas le nystagmus, ni le modifie quand il a été précédemment déterminé. En même temps des recherches radiographiques ont mis en évidence des déplacements du coeur et du diaphragme vers la région céphalique chez les sujets assis durant l'état de zéro-pesanteur. Puisque avec le dispositif original réalisé par nous la période de sub-gravité ne pouvait dépasser 1,7 secondes et, surtout, l'accélération initiale était de 3 g environ, savoir telle à pouvoir provoquer des effets d'une durée suffisante pour interférer sur les conditions du sujet dans la sub-gravité successive, on a construit en 1959⁽⁹⁾ un deuxième appareil, de plus grandes dimensions (plus de 22 mètres de hauteur) avec un habitacle, dans lequel le sujet peut garder une position préétablie même sans liens, (Fig. 1). L'accélération maxima initiale est quelque peu supérieure à 2 g, et la durée de la sous-pesanteur est de 2

secondes environ dans le premier bond et de 1,6 sec, environ dans le deuxième bond.

Moyennant ce dispositif nous avons effectué d'autres recherches qui visent à documenter la possibilité de poursuivre une tâche d'une certaine complexité de la part de sujets sains, soumis à une légère accélération longitudinale de faible durée et, successivement, à la zéro-pesanteur.

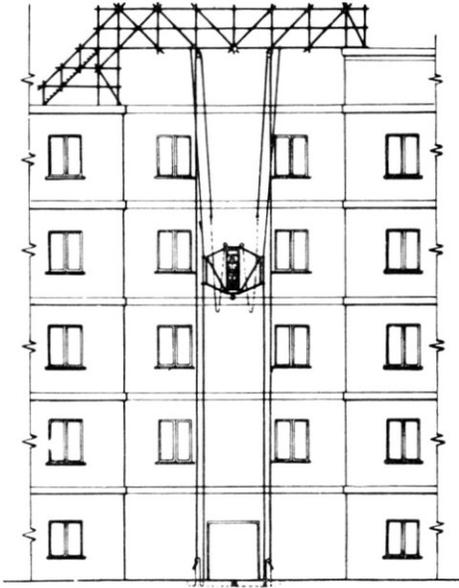


FIG. 1. Nouvelle tour de sub-pesanteur. La hauteur du treillis de support est de 22 metres. L'habitacle est en forme de cylindre au grand axe horizontal (diamètre 181 cm, hauteur 61 cm) et contient un siège rembourré pour amortir les heurts; les barres aussi de délimitation sont recouvertes avec de la gomme-mousse. L'habitacle est lancé en haut et arrêté pendant la phase terminale de la chute par quatre faisceaux de cordes élastiques mises en tension par des treuils préparés exprès. Des cordes métalliques de guide et de frein évitent des oscillations latérales et la répétition des bonds après le nombre préétabli. Des câbles électriques protégés joignent l'habitacle et le sujet aux instruments enregistreurs à terre.

D'autres buts de notre recherche sont l'exploration des effets de l'entraînement et de la contention dans l'habitacle sur le rendement du sujet dans ces conditions, et spécialement l'analyse de la manière avec laquelle la tâche prédéterminée venait d'être distribuée spontanément par les sujets dans les diverses phases de l'épreuve.

2. TECHNIQUE EXPÉRIMENTALE

Les épreuves ont été effectuées avec la collaboration de six sujets sains âgés de 21 à 37 ans. Quelques-uns d'entre-eux avaient déjà été soumis à d'autres épreuves de sub-gravité. On les a invités à exécuter avec la plus grande rapidité et précision une tâche qui consistait dans l'allumage et l'éteignement de lampes à incandescence agissant sur des interrupteurs montés sur un tableau placé en face du sujet à une distance de 50 cm

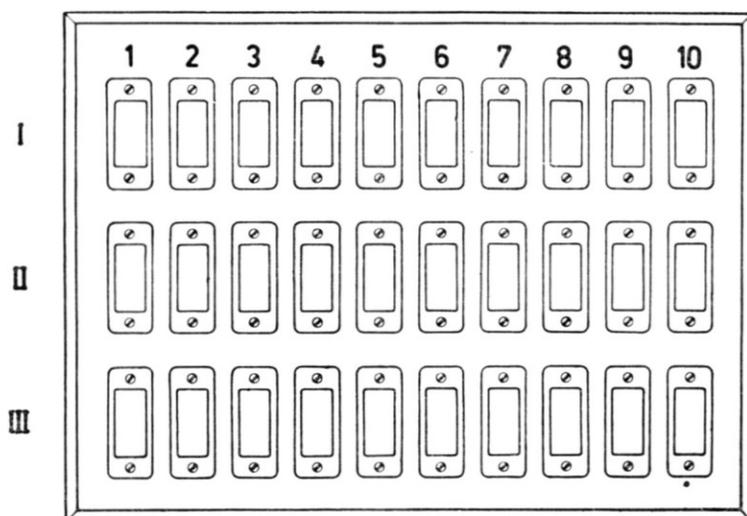


FIG. 2. Tableau avec 30 interrupteurs placé en face du sujet. Il suffit d'une légère pression de l'index pour actionner les interrupteurs. Les sujets devaient agir sur les interrupteurs avec la plus grande vitesse possible suivant trois séquences diverses:

	I 1,	I 3,	I 5,	I 7,	I 9		
sequence horizontale	→					allumage	
	II 1,	II 3,	II 5,	II 7,	II 9		
	→					allumage	
	III 1,	III 3,	III 5,	III 7,	III 9		
sequence verticale	I 1,	I 3,	I 5,	I 7,	I 9		
	II 1,	II 3,	II 5,	II 7,	II 9		
	III 1,	III 3,	III 5,	III 7,	III 9		
	↓					allumage	
sequence oblique	I 1,	II 3,	III 5,	III 6,	II 8,	I 10	
	→					allumage	
	I 10,	II 8,	III 6,	III 5,	II 3,	I 1	
	→					eteignement	

environ, suivant trois modalités diverses préétablies (Fig. 2). Ce test a été imaginé dans le but de simuler des manoeuvres simples de réglage d'appareils, telles qu'on présume devoir être accomplies pendant le vol spatial, et l'épreuve a été bornée dans le temps à 6 secondes environ,

correspondantes à deux périodes successives de sous-pesanteur alternées avec deux accélérations. L'allumage et l'éteignement des lampes ont été enregistrés suivant deux modalités: (1) moyennant une prise cinématographique par une machine fixée dans l'habitacle en face d'un tableau contenant trois rangées de lampes, dont chacune correspondait à un respectif interrupteur à manoeuvrer par le sujet; (2) moyennant enregistrement par un expérimentateur d'une deuxième série de lampes en parallélisme avec les premières et situées sur un tableau répétiteur à terre. Cela donnait une notice immédiate du comportement du sujet, et la possibilité de chronométrer le temps écoulé du commencement à la fin de chaque test et d'apercevoir les erreurs commises par le sujet.

Dans une première série d'expériences les sujets ont accompli, assis dans l'habitacle arrêté de la tour, dix tests successifs en séquence horizontale, dix en séquence oblique (Fig. 2). Après quelques minutes les

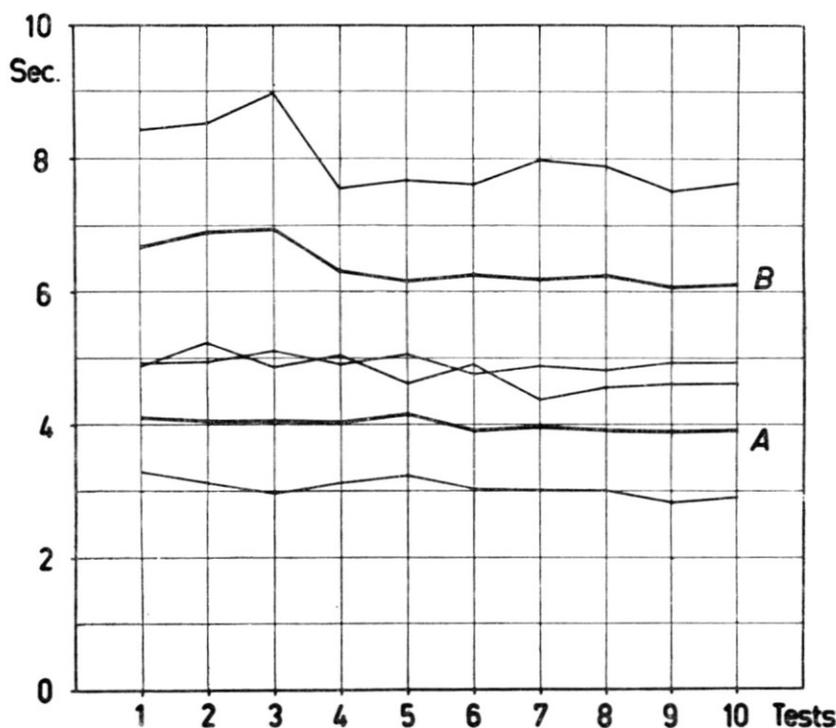


FIG. 3. Moyennes statistiques des temps employés par les sujets dans l'exécution des épreuves. Sur les ordonnées: temps en secondes; sur les abscisses: suite des épreuves. La ligne à trait épais correspond aux moyennes, celle à trait mince à la moyenne déviation standard. Le tracé A a été construit avec les valeurs des sujets arrêtés à terre; le tracé B avec les valeurs des mêmes sujets en mouvement dans la tour et sanglés au siège.

mêmes tests ont été répétés suivant un ordre identique pendant 30 lancements consécutifs, les sujets n'étant pas contraints par des moyens de contention et, en conséquence, libres de léviter dans l'habitacle durant la zéro-pesanteur. Un accélérographe, fixé sous le siège a enregistré pendant tous les lancements le comportement de l'accélération en fonction du temps. De chaque photogramme du film pris dans chaque lancement on a obtenu d'une façon exacte—l'écoulement de la pellicule étant de 52 photogrammes par seconde—les temps d'allumage et d'éteignement des lampes, qui ont été rapportés sur l'accélérogramme correspondant opportunément agrandi. Cela a permis de déterminer dans quelle phase du lancement le sujet a pu accomplir la tâche, comment celle-ci a été exécutée, et dans quelle phase il a été empêché.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats expérimentaux ont été rapportés dans les tableaux 1 et 2, qui donnent les moyennes statistiques du nombre des secondes qui ont été nécessaires pour l'accomplissement du test, avec le chiffre moyen

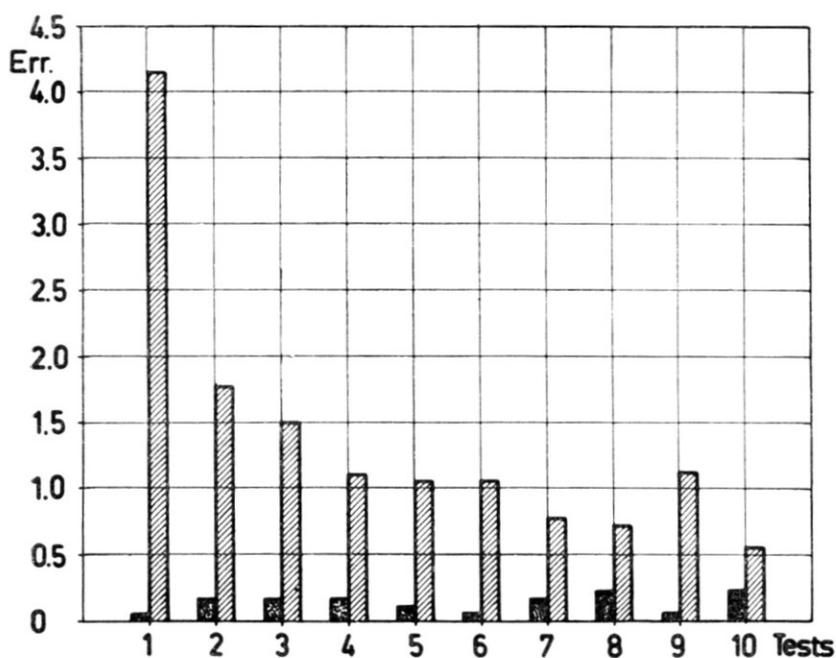


Fig. 4. Chiffre moyen des erreurs ou des omissions faites par les sujets pendant l'exécution du test. Sur les ordonnées: chiffre des erreurs et des omissions; sur les abscisses: suite des épreuves. Les colonnes grises correspondent aux sujets arrêtés à terre, celles hachées aux sujets en mouvement dans la tour, saignés au siège.

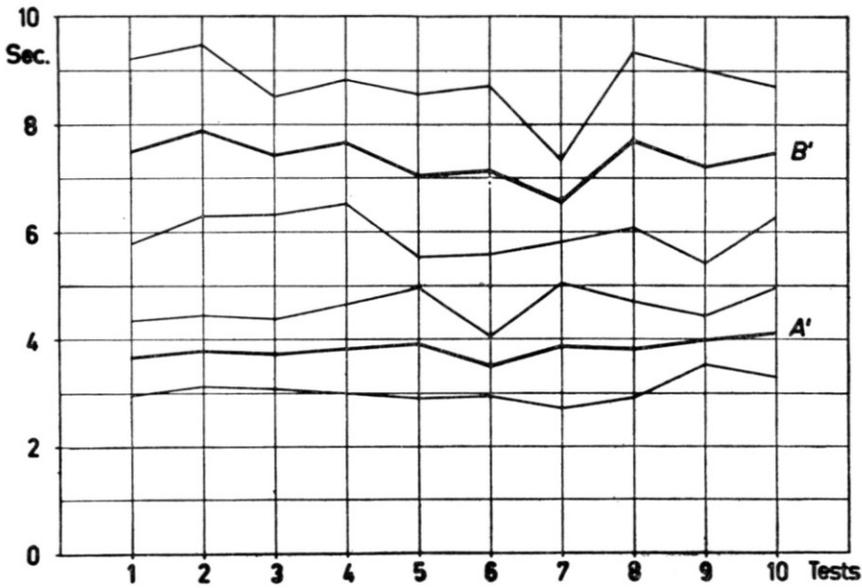


FIG. 5. De même que dans la Fig. 3. Le tracé A a été construit avec les valeurs des sujets arrêtés à terre; le tracé B' avec les valeurs des mêmes sujets en mouvement dans la tour et pas sanglés au siège.

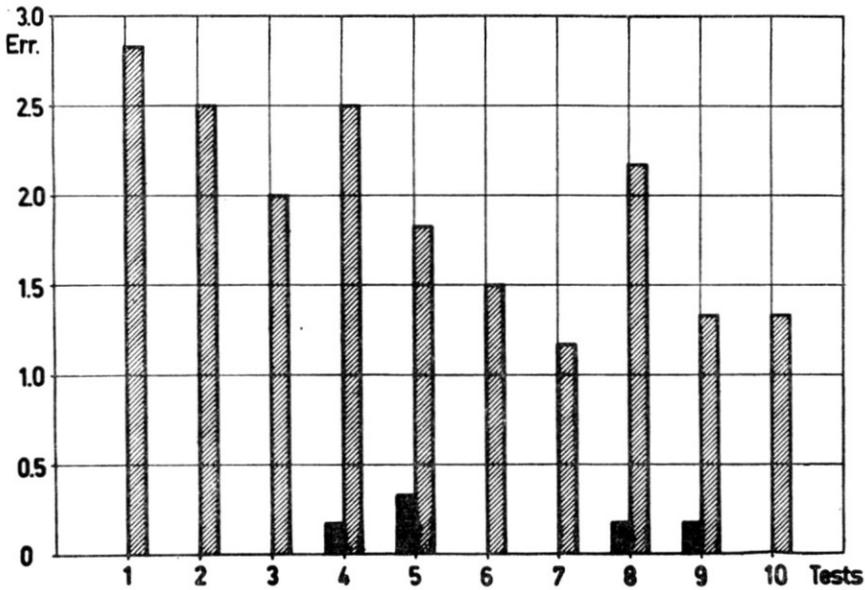


FIG. 6. De même que dans la Fig. 4. Les colonnes grises correspondent aux sujets arrêtés à terre; celles hachées aux mêmes sujets en mouvement dans la tour et pas sanglés au siège.

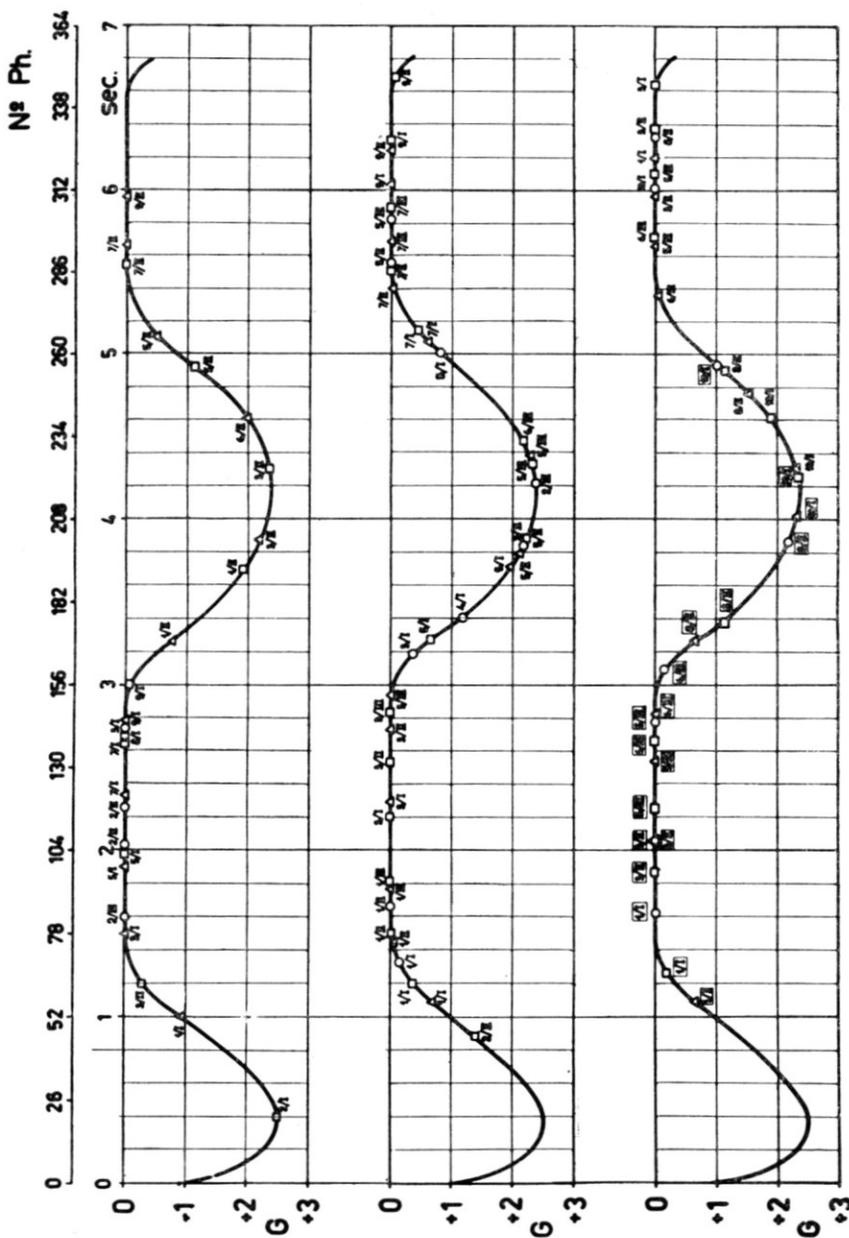


Fig. 7. Accélérogrammes obtenus pendant les lancements; on a rapporté les temps d'allumage et d'éteignement des lampes, obtenus du film. Test avec le sujet sanglé au siège. Sur les ordonnées multiples de g , sur les abscisses temps en secondes (et nombre des photogrammes). On a marqué avec un petit cercle les temps d'allumage des lampes correspondantes à la première épreuve, avec un carré ceux correspondants à la quatrième épreuve, avec un triangle oblique ceux de la huitième épreuve. Le tracé en haut concerne la séquence horizontale, celui au milieu la séquence verticale, celui en bas la séquence oblique.

des erreurs respectivement pour les sujets liés et non-liés au siège. Avec les mêmes valeurs on a construit les graphiques des Fig. 3-6.

Dans la Fig. 7 on a donné quelques exemples de graphiques obtenus au moyen de l'analyse des photogrammes des films et du tracé accélérographique.

Les épreuves effectuées sur des sujets sanglés au siège, plus nombreuses (180 au total), démontrèrent les faits suivants:

(1) l'exécution de l'entraînement préliminaire des sujets en situation d'arrêt amène—comme il était à prévoir—une légère amélioration de la vitesse avec laquelle le test venait d'être effectué, tandis qu'il ne provoque pas une amélioration appréciable dans la précision, comme on devrait remarquer par une diminution des erreurs;

(2) la répétition des épreuves pendant les accélérations et la sous-pesanteur a démontré la nécessité d'un temps supérieur (comme moyenne: +59,8%) pour l'exécution du même test, et en même temps une amélioration plus nette, par suite de la diminution moyenne de presque une seconde, entre les premières épreuves et les dernières, et de la décroissance nette du nombre des erreurs (de 4,15 dans la première épreuve à 0,56 dans la dixième);

TABLEAU 1

Moyennes statistiques des temps (en secondes) nécessaires à l'exécution du test ($M \pm \sigma$) et nombre moyen d'erreurs pour chaque test (E).

Statistical Mean Values of Times (in seconds) Required for the Execution of the Test ($M \pm \sigma$) and Mean Number of Errors for every Test (E)

Ordre des épreuves Order of the experiments	1	2	3	4	5
A { $M \pm \sigma$	4.12±0.81	4.04±0.92	4.05±1.07	4.02±0.87	4.15±0.91
	0.06	0.17	0.17	0.17	0.11
B { $M \pm \sigma$	6.67±1.78	6.89±1.67	6.93±2.05	6.31±1.25	6.15±1.56
	4.15	1.78	1.50	1.11	1.06
	6	7	8	9	10
A { $M \pm \sigma$	3.90±0.87	3.95±0.92	3.89±0.84	3.87±1.05	3.90±1.03
	0.06	0.17	0.22	0.06	0.22
B { $M \pm \sigma$	6.25±1.36	6.18±1.82	6.28±1.61	6.06±1.44	6.11±1.51
	1.06	0.78	0.72	1.12	0.56

A = Sujets fermes à terre

Subjects at rest on the ground

B = Sujets en mouvement dans la tour, sanglés au siège

Subjects in motion in the tower, fastened to the seat

(3) l'analyse de la manière par laquelle le test a été effectué démontre que la distribution des mouvements d'opération des interrupteurs n'est pas uniforme dans le temps, car ces mouvements ne s'effectuent pas durant l'accélération initiale, mais pendant les deux périodes de zéro-pesanteur et, en nombre plus petit, pendant la deuxième et légère accélération, caractérisée par une variation plus lente dans le temps. Cela démontre qu'un sujet normal a la possibilité d'exécuter des mouvements coordonnés avec les membres supérieurs sous le contrôle visuel durant la sous-pesanteur et durant des accélérations linéaires faibles, même si ces mouvements viennent d'être effectués avec une précision et une rapidité quelque peu plus petite en comparaison du même sujet dans des conditions de gravité normale;

(4) enfin on n'a observé aucun trouble chez les sujets soumis maintes fois et avec de très brefs intervalles à des périodes de zéro-pesanteur, précédés et suivis par de légères accélérations linéaires. Selon nous, on pourrait attribuer cela à l'expérience acquise de nos sujets et au fait que le soin dans l'accomplissement de la tâche a contribué à atténuer ces phénomènes psychophysiologiques qui provoquent l'apparition des kinétoses.

TABLEAU 2

Moyennes statistiques des temps (en secondes) nécessaires à l'exécution du test ($M \pm \sigma$) et nombre moyen d'erreurs pour chaque test (E).
Statistical Mean Values of Times (in seconds) Required for the Execution of the Test ($M \pm \sigma$) and Mean Number of Errors for Every Test (E)

Ordre des épreuves Order of the experiments	1	2	3	4	5
A' { $M \pm \sigma$	3.67 ± 0.71	3.80 ± 0.68	3.73 ± 0.66	3.83 ± 0.82	3.93 ± 1.02
E	0.0	0.0	0.0	0.17	0.33
B' { $M \pm \sigma$	7.50 ± 1.72	7.90 ± 1.59	7.43 ± 1.09	7.67 ± 1.15	7.03 ± 1.51
E	2.83	2.50	2.00	2.50	1.83
	6	7	8	9	10
A' { $M \pm \sigma$	3.50 ± 0.55	3.87 ± 1.17	3.80 ± 0.89	3.97 ± 0.46	4.10 ± 0.83
E	0.0	0.0	0.17	0.17	0.0
B' { $M \pm \sigma$	7.13 ± 1.57	6.57 ± 0.76	7.70 ± 1.63	7.20 ± 1.80	7.47 ± 1.21
E	1.50	1.17	2.17	1.33	1.33

A' = Sujets fermes à terre

Subjects at rest on the ground

B' = Sujets en mouvement dans la tour, pas sanglés ou siège

Subjects in motion in the tower, not fastened to the seat

Les expériences répétées chez deux des sujets des précédentes épreuves, mais pas sanglés au siège, et par conséquent libres de léviter dans l'habitacle, n'ont pas donné des résultats différents, dans leur ensemble on peut les résumer comme suit:

(1) Le test effectué à terre, après un intervalle d'environ 1 mois, a été exécuté dans un temps moyen de 3,82 secondes, pratiquement égal à celui obtenu dans le cycle précédent (3,99 secondes); les sujets ne démontrèrent aucune amélioration appréciable dans la vitesse, ni dans la précision de la 1ère à la 10ème épreuve.

(2) Les expériences effectuées aussitôt après, pendant des accélérations et une zéro-pesanteur égales à celles du premier cycle, ont permis de constater le soulèvement du corps du sujet, qui durant 2 secondes environ plana dans l'habitacle sans peser sur le siège, ou bien a touché le toit de sa tête. Cela se montra visible dans la prise cinématographique et a rendu difficile ou empêché au sujet l'exécution du test, surtout parce que les déplacements du corps étaient variables suivant les lancements à cause de petites oscillations de l'habitacle. Pour le même motif nous n'avons pas pu effectuer l'observation des temps d'allumage des lampes du tableau placé dans la cabine, car la tête et le thorax du sujet se placèrent maintes fois entre le tableau et la caméra. Dans diverses expériences le déplacement n'advint pas à cause du frottement entre le dos du sujet et le dos du siège revêtu de gomme mousse.

(3) Par conséquent, le temps moyen nécessaire pour l'exécution du test pendant le lancement (7,36 sec) se montre pratiquement doublé relativement à l'effectuation en situation d'arrêt, et supérieur de 15% en comparaison avec celui nécessaire au même sujet sanglé au siège; le rendement des deux sujets n'a montré aucune amélioration sensible du premier au dixième test. Le nombre des erreurs aussi a été supérieur, en se maintenant élevé dans les derniers tests (voir Tableau 2). Ces résultats s'accordent avec de précédentes observations en vol de Ballinger⁽¹⁰⁾.

En conclusion, les expériences effectuées par nous démontrent que des sujets sains peuvent supporter, sans en ressentir des troubles évidents, des expositions répétées et de courte durée à la sous-pesanteur, précédées et suivie par de moindres accélérations rectilignes. Dans ces conditions on a la possibilité d'exécuter des tâches relativement simples, d'ordre perceptivo-moteur, même si avec des vitesses et précisions inférieures à celles montrées par les mêmes sujets en conditions de gravité normale. Les sujets non sanglés au siège durant les lancements montrent une difficulté et une imprécision plus grandes dans l'exécution du test.

L'analyse de la manière par laquelle ce dernier a été effectué a démontré que les effets de la sub-gravité et de la zéro-pesanteur de courte durée

sur les fonctions perceptivo-motrices sont bien faibles, spécialement quand les rapports entre l'organisme et les objets environnants sont tenus en état de stabilité par des moyens propres de contention.

BIBLIOGRAPHIE

1. VON BECKH H. J. A., Experiments with Animals and Human Subjects under Sub- and Zero-gravity Conditions during the Dive and Parabolic Flight, *J. Aviat. Med.* **25**, 235, 1954.
2. KUSNETZOV A. G., Some Results of Biological Experiments made on Rockets and Sputnik II, *J. Aviat. Med.* **29**, 781, 1958.
3. VON BECKH H. J. A., Human Reactions during Flight to Acceleration Preceded by or Followed by Weightlessness, *Aerosp. Med.* **30**, 391, 1959.
4. VON DIRINGSHOFEN H., Steepness of G-fall as important Factor in the Sensation of Weightlessness. 3ème Congrès Européen de Méd. Aéron., Louvain, 1958.
5. VON DIRINGSHOFEN H., Alcune osservazioni sulla fisiologia dei sensi durante il passaggio dallo stato di accelerazione a gravità zero. *Riv. Med. Aeron. e Spaz.* **22**, 15, 1959.
6. LOMONACO T., STROLLO M. et FABRIS L., Sulla fisiopatologia durante il volo nello spazio. Comportamento della coordinazione motoria in soggetti sottoposti ad accelerazioni varianti da 3 à 0 G. *Riv. Med. Aeron.* **20**, Suppl. I, 76, 1957.
7. LOMONACO T., SCANO A., STROLLO M. et ROSSANIGO F., Alcuni dati sperimentali fisiopsichici sugli effetti delle accelerazioni e della subgravità previsti nell'uomo lanciato nello spazio. *Riv. Med. Aeron.* **20**, 363, 1957.
8. LOMONACO T., SCANO A. et ROSSANIGO F., Comportamento di alcuni dati fisiopsichici nell'uomo sottoposto a variazioni di accelerazione comprese fra 3 à 0 G. *Riv. Med. Aeron.* **21**, 691, 1958.
9. FABRIS L. et LOMONACO T., Congegno per creare e studiare le condizioni di subgravità nell'uomo (torre di subgravità). Atti IV Congresso Europeo di Med. Aeron. e Spaz., Roma, 1959.
10. BALLINGER E. R., Human experiments in subgravity and prolonged acceleration. *J. Aviat. Med.* **23**, 319, 1952.