

L'utilisation raisonnable de l'oxygène lors de longs vols alpins

par Heini Schaffner, médecin anesthésiste et vélivole alpin

Le pilote vélivole qui n'est pas adapté à la montagne (c'est le cas s'il habite la plaine et pratique son sport favori dans les alpes) peut, surtout lors de ses premiers vols alpins, souffrir d'un certain nombre d'inconvénients qui, outre qu'ils gâchent son plaisir, menacent aussi sa sécurité en vol.

- **Fatigue anormale**, surtout vers la fin du vol, que la tension suscitée par le pilotage ne saurait seule expliquer.
- **Bâillements fréquents** (symptôme classique de sous oxygénation cérébrale)
- **Insomnie** durant la nuit suivant le vol, et déficit de sommeil le lendemain.
- **Maux de tête frontaux, parfois tenaces** (manifestation de l'hypertension intracrânienne hypoxique?)
- **Hyperpnée**, discrète au repos, mais manifeste au moindre effort (par exemple lorsque le pilote essaye d'ouvrir la bouteille d'oxygène en vol ou s'efforce d'uriner).
- **Dégradation progressive, bien que réversible, de la vision**, provoquée par un oedème cornéen; fatigue de l'accommodation, resserrement du champ visuel et défraîchissement de la vision colorée.
- **Nausées et vomissements** sans cause apparente, affectant même les pilotes confirmés (symptômes de sous perfusion cérébrale suite à l'oedémisation hypoxique du cerveau).
- **Déficience progressive de la vigilance** (maintien de la capacité de concentration).
- **Perte progressive de la curiosité et de l'initiative en vol**, dont dérivent **démotivation et défaut de plaisir immédiat**.
- **Régression aux acquis antérieurs, menant à un style de vol simpliste**.
- **Pieds et jambes glacés**, malgré les bottes et vêtements isolants; phénomène que l'immobilité et la température ambiante ne saurait seule expliquer (mais comparable à l'état de choc hémorragique où le lit vasculaire se resserre autour d'un volume circulant diminué).

Il est vrai que ces symptômes précités ne sont pas spécifiques au vol alpin, mais le vol à voile alpin se prête particulièrement à la preuve de leur nature hypoxique: Les mêmes individus, régulièrement symptomatiques durant leur vols

alpins, s'ils renoncent à l'oxygène supplémentaire, sont exempt de leur maux durant un prochain vol, s'ils s'oxygènent d'une manière efficace et précoce. Bien que les symptômes précités ne se développent qu'après quelques heures en vol, en revanche ils peuvent se manifester déjà dans la zone d'altitude située entre 2000 à 4000 m. Contrairement aux symptômes différents de l'hypoxie aiguë non prolongée (vision tunnelaire et incolore, surestimation de soi, incapacités multiples, hyperventilation, voire déficit neurologique), ils n'obéissent pas à l'administration seule, non plus généreuse, d'oxygène. Car après quelques heures la réoxygénation rencontre un obstacle de diffusion sous forme d'une **fluidisation des membranes cellulaires** voire **l'oedémisation généralisée des tissus** (que l'hypoxie légère mais continue a rendu perméables pour l'influx de sodium entouré d'eau) et cela au détriment du volume plasmatique circulant et intracellulaire.

Bien connus et redoutés par les alpinistes de haute montagne sont **l'oedème aigu du poumon** et **l'oedème cérébral pernicieux de l'altitude**. Par expérience ni l'administration (tardive) d'oxygène ni un médicament particulier arrive à les repousser mais bien la translocation à une altitude inférieure de quelques centaines de mètres. Avant que se développe la forme invalidante de ces oedèmes les alpinistes subissent les mêmes maux mineurs précités du vélivole alpin.

La membrane d'une cellule nerveuse est comparable à la coque non étanche d'un bateau. La pompe à sodium permanente de la membrane correspond au marin qui lutte contre l'inondation (l'oedémisation) de son bateau moyennant le seau. S'il s'épuisait, il coulerait. L'oxygène correspond alors à la nourriture du marin; une moitié du besoin total assure l'étanchéité du bateau (l'intégrité de la membrane), tandis que l'autre moitié permet la navigation (la fonction cellulaire). Afin d'assurer l'intégrité et la bonne fonction de la cellule nerveuse, l'oxygène doit donc être disponible d'une façon suffisante et continue.

Ce **mal aigu des montagnes**, syndrome de l'hypoxie mal compensée sur le plan respiratoire, n'affecte pas seulement les alpinistes (certains, même jeunes et entraînés, en souffrent à partir de 2500 m!). Les mauvais acclimateurs se trouvent aussi parmi les vélivoles; ce sont ceux qui ont une faible réponse ventilatoire à l'hypoxie, accompagnée d'une antidiurèse et qui sont ainsi vite frappés de maux en vol. Contrairement à ce qu'on pourrait supposer, ils ne souffrent qu'exceptionnellement d'un manque d'air ou d'une vessie pleine en vol. Comme la grande majorité d'aéronautes, ils ne bénéficient d'aucune acclimatation respiratoire native en plaine

(comme p. ex. une femme enceinte), mais en plus, ils sont incapables d'en acquérir une en altitude.

Malgré les variations plus amples et brusques de l'altitude que celles des alpinistes, le vol à voile alpin s'effectue tout de même confortablement en position semi assise et se termine le soir généralement sur un terrain d'atterrissage à basse altitude. Cette différence pourrait expliquer pourquoi le vélivole alpin n'est rarement touché de ce mal de façon clinique. Par contre, nul vélivole, volant sans oxygène, ne saurait affirmer l'absence totale de symptômes lors de et suites à ses vols alpins, car sa réponse ventilatoire dépend entre autres aussi de sa forme du jour.

Quand les pilotes racontent leurs aventures après la rentrée, l'écoute focalisée sur leur plaisir éprouvé en vol permettrait aisément d'en identifier les mauvais acclimateurs. Ce sont ceux qui se plaignent de maux en vol ou qui atterrissent souvent prématurément par défaut de plaisir. Ce sont eux qui auraient pu profiter le plus d'un apport précoce d'oxygène continu. Il est rappelé à cet endroit que certains médicaments, notamment sédatifs, antiallergiques, antihypertenseurs, résidus d'hypnotiques ou d'alcool interfèrent avec la régulation de la ventilation, soit gênent la fonction du chémorécepteur périphérique (10 mg de tissu nerveux oxygénosensible dans la bifurcation carotidienne), qui est le médiateur principal de la réponse ventilatoire à l'hypoxie.

A ce sujet, je cite le cas d'un vélivole confirmé (>3000 heures de vol alpin asymptomatique, moniteur VV, touriste alpin de surcroît) qui est devenu symptomatique (céphalées, stupor, nausées, vomissements), durant un vol alpin (comme passager d'ailleurs) pour la première fois suite à une radiothérapie du cou. Sans doute les rayons ont inactivé son chémorécepteur périphérique.

Dès lors il faudrait revoir les divers maux inattendus, frappant le pilote ou son passager, ainsi que quelques causes d'accidents inexplicables en vol alpin sous l'aspect d'un début du **mal aigu des montagnes**. De même, la dite "**zone de compensation complète**", relique de la classification des dernières décennies pour la zone d'altitude entre 2.000 – 4.000 m, ne peut s'appliquer à tous et chacun et égale donc à une simplification potentiellement dangereuse.

En admettant que les altitudes <2.000 m sont exemptes de symptômes notables et que le pilote vélivole se tienne strictement aux règles en vigueur, c'est à dire de s'adjointre de l'oxygène supplémentaire au plus tard entre 3.500 – 4.000m, la zone entre ces altitudes limites pourrait être décrit de façon suivante:

2.000 m – 4.000 m:

Majorité de bons acclimateurs: Réponse ventilatoire vive:

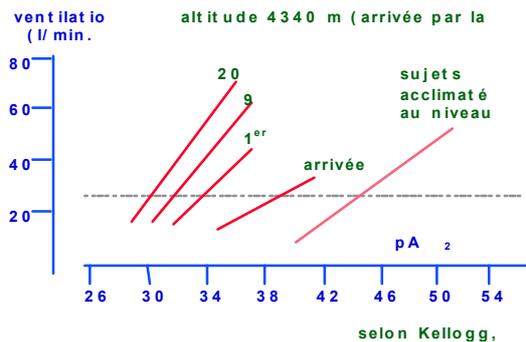
Symptômes discrets provenant surtout de l'hyperventilation (fourmillements, crampes, vision tunnelaire décolorée, pertes insensibles liquidiennes et thermiques, production accrue d'urine, pieds froids, etc.). La durée de l'exposition amplifie les symptômes. L'hyperventilation augmente d'une part l'efficacité de l'échange gazeux pulmonaire, mais entraîne d'autre part une vasoconstriction cérébrale qui l'anéantit au niveau des cellules nerveuses.

Minorité de mauvais acclimateurs: Réponse ventilatoire insuffisante, voire absente:

Symptômes du mal aigu des montagnes correspondants au cerveau enflé par l'hypoxie nette (céphalées, fatigue, oppression thoracique, oedématisation, antidiurèse, nausées et vomissements, dépression hypoxique du système nerveux dont aussi de la régulation de la ventilation).

Avant que l'alpiniste manifeste le début de l'acclimatation respiratoire à l'altitude, il souffre de deux jours de dépression hypoxique de son système nerveux (y inclus les centres respiratoires et la transmission neuromusculaire des muscles respiratoires). L'initial chamboulement ventilatoire de l'équilibre acido-basique et hydro électrolytique ne s'améliore qu'au cours des dix-huit jours suivants de séjour continu à une altitude élevée mais supportable. Cette évolution biphasique saurait expliquer pourquoi les symptômes des vélivoles, détaillés au début de l'article, sont plus prononcés lors des premiers vols d'un stage de vol alpin.

Réponse ventilatoire 2 durant l'acclimatation



gauche en se redressant; c'est l'acclimatation respiratoire.

Le pilote de plaine, il faut l'admettre d'emblée, ne bénéficie donc d'aucune acclimatation respiratoire immédiate ou inhérente à son activité en plein air; il ne va non plus en acquérir une qui est d'utilité personnelle, en volant haut et sans oxygène durant seulement quelques heures par jour! L'aptitude certifiée pour le vol ne l'immunise aucunement contre les effets de l'altitude. Même en tant que bon acclimateur, c'est à dire muni d'une vive réponse ventilatoire, il n'est pas à l'abri de certaines indispositions résultant d'une centralisation circulatoire (pieds glacés, doigts fourmillants, vision tunnelaire) et de la diurèse accrue, résultant d'un trop plein d'un lit vasculaire resserré. Seul l'oxygénation dès les basses couches, soit à partir de 2.000 m, saurait empêcher la réponse hyper ventilatoire et ses effets indésirés.

Afin de respecter la réglementation, laquelle n'exige l'oxygénation complémentaire qu'à partir de 3.500 m (pour les pilotes âgés, frappés d'embonpoint ou fumeurs) ou de 4.000 m (pour les pilotes jeunes, minces et sportifs), la plupart des planeurs modernes sont équipés d'un inhalateur d'oxygène "à la demande" ou alternativement à "flux continu".

Les dispensateurs "à la demande" proviennent souvent des surplus de l'aviation militaire; ils sont de construction mécanique, donc encombrants et peu économes. Le masque correspondant est du type "pilote de chasse", exige un harnais serré afin d'assurer l'étanchéité et son gros tuyau plissé gêne considérablement lors de la surveillance aérienne sous l'habitacle du planeur. L'adjonction d'oxygène à l'air ambiant inspiré dépasse généreusement le pourcentage que demande l'altitude. En plus le mélange est consommé par le pilote, selon son activité, à raison de 12 à 24 l/min, qui est sa respiration par minute est non pas sa consommation d'oxygène qui serait plus modeste; en système ouvert aucune réutilisation de la haleine expirée n'est possible et on perd ainsi l'avantage que l'air expiratoire réchauffé et humidifié puisse être reconditionné avec un complément d'oxygène. En pratique le contenu de la seule bouteille d'oxygène à bord du planeur sera consommé bien avant la fin d'un long vol alpin.

De ce fait certains vélivoles interprètent "avec souplesse" les limites réglementaires avant de saisir le masque. Bien que le masque gardé en "stand by", jusqu'à l'arrivée d'une défaillance notable (comme l'assoupissement en plein vol), ne puisse être la solution idéale, l'autre pratique répandue, celle "d'une bouffée d'oxygène de temps en temps" ne l'est non plus. Cette dernière habitude ne modifierait la composition du volume résiduel pulmonaire qu'après une latence de trois à quatre minutes, et non plus d'une façon durable, comme le pulsoxymètre en vol le confirme après le même délai.

En conclusion de ce qui précède, il faudrait que les vélivoles mettent la barre plus haut, en aspirant au confort et au plaisir maximal, afin d'augmenter leur sécurité (mutuelle, si on considère les collisions en vol). **L'oxygénation en vol alpin** devrait donc se faire **de façon systématique, inconditionnelle, précoce, continue, néanmoins adaptée** au besoin du moment.

Pour les vélivoles raisonnables ce **concept logique** pourrait se heurter éventuellement au problème des réserves limitées d'oxygène en planeur ou aux coûts supplémentaires qu'il entraîne. En outre, l'infrastructure des aérodromes devrait être complétée par une facilité de remplissage pour les bouteilles d'O₂. Pour les autres, qui jugent inutile toute modification de leurs habitudes actuelles, je dirais: "Expérimentez d'abord la différence lors de vos long vols alpins; elle est impressionnante à tous les niveaux, surtout visuels et mentaux et le plaisir de vol y sera immédiat!"

La sortie de l'impasse: L'EDS

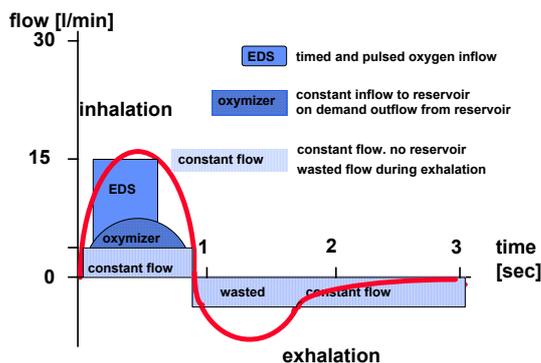
L'EDS (Electronic Delivery System, de Mountain High Equipment & Supply Company, 625 S.E. Salmon Ave., Ste. 2, Redmond, Oregon. 97756 USA, Tel: 541-923-4100 World & Corporate voice, Fax: 541-923-4141 World & Corporate fax, <http://www.mhoxxygen.com/>, est un nouveau dispensateur d'oxygène "à la demande" selon le besoin du moment. Il résout de manière économique notre difficulté. Conçu initialement à l'usage des alpinistes de l'Everest, il été adapté comme suit à celui des aéronautes:

La pression de la bouteille d'oxygène (200 bars max. pour un cylindre en acier) est réduite à environ un bar seulement, moyennant un petit détendeur du type XCR (disponible aussi en norme européenne DIN-477) qui peut être vissé et serré manuellement et qui est doté d'un petit manomètre gradué en bars et en psi. L'oxygène à pression réduite est conduit par un tube en polyuréthane (diam. ext. 4 mm, facile à scotcher contre les surfaces du planeur) jusqu'à l'EDS-D1, petite boîte noire qui mesure 6,6 x 10,4 x 3,9 cm et ne pèse que 230 g. Il pourrait par exemple être fixé au harnais à l'aide d'un velcro, ce qui permet aisément d'observer son bon fonctionnement en vol.

A l'intérieur de l'EDS un transducteur de pression différentielle détecte les ondulations respiratoires de la pression ambiante dans les canules nasales ou dans le masque léger en plastique. Les canules nasales sont approuvée FAA jusqu'à 5.490 m; plus haut le masque est exigé et approuvé jusqu'à 9.760 m max. A basse altitude une inspiration sur deux, plus haut chaque inspiration est supplémentée par un jet (une giclée) d'oxygène pur, dont la durée exacte varie inversement avec la pression en altitude, qui est déclenché avec précision tout au début de l'inhalation.

La première fraction du volume inspiratoire est celle qui entre profondément dans les poumons et qui est apte à y modifier la composition du volume résiduel qui est la couche importante en contact avec les capillaires pulmonaires. La seconde fraction, appelé l'espace mort, pendule seulement dans les voies aériennes supérieures, et n'est donc d'aucune utilité pour l'échange gazeux; y mêler un apport d'oxygène (comme le système répandu à "flux constant" et les autres systèmes "à la demande" le font) reviendrait à gaspiller celui-ci.

Single breath flow curve



Une électrovanne, qui fractionne le flux d'oxygène d'environ 15 l/min, est commandée par un circuit électronique; mais en cas de doute ou de secours elle s'ouvre aussi pour la durée d'une demie seconde à l'aide de la position R/M du sélecteur. Un son aigu et une LED rouge avertissent le pilote quand l'apport d'oxygène s'interrompt ou bien avant que ne s'épuise l'unique pile intérieure (9 V, durée max 40 h). La pile installée pourrait aussi servir de pile de réserve, si l'EDS était de prime abord alimenté d'une source extérieure de 9 Volts (convertisseur 12 V disponible en option).

Plusieurs modes d'application d'oxygène peuvent être choisis à l'aide d'un sélecteur à boutons poussoir, soit le "N" ou "Night"-mode (apport d'oxygène à n'importe quelle altitude, mais en rapport avec les modestes besoins dans les basses couches) ou les "D" ou "Day"-modes (ou ce gaz précieux n'est dispensé qu'à partir d'un seuil d'altitude, soit de 5.000 ft = 1.500 m en D5, de 10.000 ft en D10 ou de 15.000 ft en D15). Je suppose que la diminution connue de la vision nocturne, qui est synonyme à la restriction du champ visuel démontrée à partir de 1.500 m (sans oxygène), a mené au nom de "NIGHT-mode".

Le fait que les vélioles ne sont pas autorisés au vol de nuit ne signifie pas que ce "NIGHT or NOW-mode" ne serait pas le réglage idéal à choisir. En effet, c'est déjà dans les basses couches, là où l'espace entre le planeur et les obstacles aériens est diminué et où le trafic véliole est concentré, que le pilote doit commencer à

s'oxygéner, s'il veut bénéficier des meilleures qualités visuelles et mentales. Y vouloir se priver de ce gaz vital serait contraire à la sécurité aérienne et aussi disproportionné, vu le modeste complément qui y serait nécessaire et vue l'économie farouche que l'EDS offre déjà au vélivole.

Peut-être un jour les pilotes de ligne découvriront aussi les avantages de l'EDS au NIGHT-mode pour le maintien de la vigilance durant leurs vols long courriers nocturnes à une pression dans la cabine correspondant jusqu'à 2.400 m d'altitude.

Comparé au système à "flux constant" conventionnel qui consommerait entre 0.5 et 3.5 l/min d'oxygène, l'EDS s'avère dix fois plus économe; s'il est comparé à un système modifié à "flux constant", dont fait partie la canule nasale à réservoir extensible du type "Oxymizer", l'EDS est encore sept fois plus économe.

Ladite canule nasale particulière peut capter et accumuler le flux continu durant l'expiration; mais, afin de pouvoir tenir compte de l'économie qui en résulte, il est recommandé de doser le flux à l'aide d'un débitmètre spécial du type A3 qui est calibré en pieds et en mètres, mais qui doit être ajusté manuellement à tout moment. Ce système particulier à "flux constant" serait une alternative moins coûteuse, mais aussi moins économe, que l'EDS. Pour les groupes de VV ou pour la place arrière d'un planeur biplace il serait une solution avantageuse.

Il n'est malheureusement **pas** possible de combiner les avantages économiques de la canule "Oxymizer" avec celles de l'EDS. Les variations respiratoires minuscules de la pression ambiante ne seraient détectées de façon fiable qu'à travers d'une tubulure rigide.

Les avantages du port de la canule nasale se résument par la facilité gardée de la communication radio et l'absence de tuyaux encombrants dans le cockpit. La rumeur, que la canule nasale dessécherait les narines, ne peut pas être confirmée par mes propres expériences. Par contre j'ai appris que les narines, dans le cadre d'une rhinite allergique d'un autre pilote, se seraient bouchées en plein vol, ce qui aurait empêché le déclenchement des giclées par l'EDS; dès lors celui-ci veillera à ce que des gouttes nasales ainsi que le masque en plastique alternatif, conçu pour l'EDS, font partie de sa "check list."

Un autre argument en faveur de l'utilisation de l'EDS, soit au mode N ou D5, dès le décollage découle du délai parfois prolongé avant que l'altitude de déclenchement du mode D12 (3.355 m) soit atteinte. Renoncer à l'oxygénation complémentaire "ab initio" reviendrait à accepter au moins un début d'oedématisation des tissus et de la fluidisation des membranes cellulaires et par conséquent un début du mal décrit. Même si, dès lors, l'oxygénation était

correcte, elle ne saurait résorber les fluides accumulés d'un seul coup et le rétablissement de la situation ne se terminerait pas avant la fin du vol.

En surveillant moi-même mon oxygénation en vol, à l'aide d'un pulsoxymètre (Minolta, Pulsox 3), et ce à différentes altitudes jusqu'au FL 195, j'ai pu vérifier que la saturation de l'hémoglobine avec l'EDS ne passait jamais au-dessous de 93%, limite inférieure de la norme d'un collectif de terrestres. A 4.000 m, suite à 10 min. sans apport d'oxygène, elle tombait à 88 %, mais je souffrais plutôt d'un abdomen ballonné (air avalé et expansé à cette altitude, poussant contre les diaphragmes se traduisant par un manque d'air) que des symptômes classiques de l'hypoxie

En revanche, après quelques spirales très serrées que demandent les ascendances de la couche turbulente sous ondulatoire (les rotors), je me suis retrouvé avec la vision troublée, tachypnée et manquant d'air, malgré l'oxygénation assuré par l'EDS (mode D5, canules nasales). Le pulsoxymètre indiquait, à répétition d'ailleurs, la minable saturation de 82 %, prouvant ainsi la nature hypoxique des symptômes observés.

Cette tachypnée n'est pas le résultat d'une dysfonction temporaire de l'EDS, mais bien d'un effondrement de la fonction pulmonaire sous l'influence des forces "g". Une pesanteur plus que doublée du poumon signifie que peu de sang désaturé arrive dans sa partie supérieure bien que celle-ci est généralement mieux ventilée. En analogie la majorité de sang désaturé passe à travers de la partie dépendante (inférieure) sans pouvoir contacter l'oxygène, car les alvéoles y sont collabées voire comprimées. On parle d'un mauvais rapport ventilation/perfusion que l'inhalation d'oxygène seule ne saurait compenser. Après le catapultage dans la couche laminaire de l'onde, j'ai pu rapidement récupérer mes esprits. Evidemment la sélection du mode d'urgence (R/M) de l'EDS, qui délivre des jets optimaux d'une demie seconde et indépendant de

l'altitude, aiderait, bien que la mauvaise resaturation du sang pulmonaire résulte d'un mécanisme purement circulatoire.

Les 600 litres d'oxygène expansés, provenant d'une bouteille de trois litres, permettent, selon les calculs du fabricant, une durée d'utilisation de l'EDS d'environ 70 heures à 3.000 m ou encore de 35 heures à 6.000 m; en propre pratique ils équivalent à cinq long vols en montagne, en mode D5 durant le vol entier bien entendu.

Conclusions:

Suite à mes propres observations professionnelles et vélivoles, je suis persuadé que le plaisir et la motivation de vol, ainsi que les facultés visuelles et mentales requises lors de longs vol alpins pourraient être maintenues au niveau pré-vol ou être améliorées sensiblement par rapport à la pratique courante, qui n'interprète que le règlement en vigueur moyennant une trop grande souplesse. Pour y arriver il faut que le vélivole utilise l'oxygène d'une façon anticipante, c'est à dire systématiquement, précoce, continue et pratiquant une respiration profonde donc consciente. L'EDS est ainsi un élément de sécurité qui mérite bien le même succès en vol à voile qu'ont trouvé l'ordinateurs de bord, le GPS, le "moving map", le logger et les winglets).

Bibliographie:

Ward, Milledge, West: High Altitude Medicine and Physiology, second edition, 1995, Chapman & Hall Medical, New York

Krakauer Jon.: Into thin air. Anchor books, 1998, New York.

EDS-Manual, Mountain High Aviation oxygen management systems.

P.S: En tant qu'alpiniste confirmé et aussi optimalement acclimaté, Robert Hall semble avoir eu les mêmes problèmes avec l'hypoxie, bien qu'ils lui aient concerné à une altitude beaucoup plus élevée:

As far as the dangers go higher up, I've already decided personally to use bottled oxygen this time, not because I think I can't climb the mountain without it - I don't suffer from that sporting influence as much as I used to - but because I know it is going to be a hell of a lot safer.

I've never used oxygen yet but I know I'll be able to keep fingers and toes warm, which concerns me a lot. More importantly my brain is going to be able to function so I'm not going to do anything stupid.

The really positive side to using oxygen is that I'm probably going to enjoy the summit day, hard work still, but with some oxygen circulating around the system I should have my senses so as to be able to absorb the experience.

I suggest that a lot of people who have been high on the mountain without bottled oxygen have just been in a stupor.

Robert Hall , 1990
Kiwi mountaineer,
five ascents on Everest