

Porta Alpina Sedrun

Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden der Benutzer (Medizinisches Gutachten)

Evaluation des effets des variations environnementales sur la sécurité et le confort des passagers (Expertise médicale)

Brigitta Danuser, Prof. Dr. Med. Spezialistin FMH für Arbeitsmedizin und Public Health

Inhaltsverzeichnis :

1.	Situation	2
2.	Effets de la pression	2
3.	Barotraumatismes de l'oreille	3
4.	Effets thermiques	4
5.	Limites de vitesse de descente	4
6.	Conclusions	6
7.	Schlussfolgerungen	6
8.	Kleinkinder	7
9.	Personen mit Herz-Kreislaufproblemen	8
10.	Schwangere Frauen	8
11.	Spezielle Situationen	9
12.	Abschliessende Betrachtungen	9

1. Situation

Um Sedrun mit der unterirdischen NEAT-Tunnel-Haltestelle (Porta Alpina) zu verbinden ist ein Hochgeschwindigkeitslift von 800m Höhe geplant. Dieser soll mit einer Geschwindigkeit von 12m/s fahren, die gesamte Fahrzeit beträgt 102 Sekunden.

Die Druck- und Temperaturbedingungen bei der Abfahrts- und Ankunftsstation sind höchst unterschiedlich. Ein Temperaturgradient von mehr als 30°C kann im Winter angetroffen werden (28°C in der Tunnelhaltestelle, -10°C am Ausgang Sedrun). Der erwartete Druckgradient, legt man eine Änderung von 12 Pa per Meter Höhe zugrunde, beträgt 9.6 kPa.

Die Passagiere des Liftes werden bei der Auf- und Abfahrt starken Veränderungen ihrer physischen Umwelt ausgesetzt. Es geht also darum mit Hilfe der aktuellen physiologischen Erkenntnisse und den gemachten Erfahrungen in anderen ähnlichen Systemen (Wolkenkratzer-Lift, zivile Luftfahrt) den Einfluss dieser Änderungen auf die Gesundheit und den Komfort der Liftbenutzer zu evaluieren.

Die Evaluation der Auswirkungen auf die Gesundheit und den Komfort der Liftbenutzer erfolgte in einem System mit folgenden Grenzen/Bedingungen:

- die Liftzone, sowie die Wartehalle sind aerodynamisch vom Tunnel getrennt. Wäre dies nicht der Fall könnten Trommelfellplattungen durch den Piston-Effekt eines vorbeifahrenden Zuges, insbesondere bei Personen, die den Ohrendruck nach der Liftabwärtsfahrt noch nicht ausgeglichen haben, nicht ausgeschlossen werden.
- Die Tunnelwartehalle wird auf mindestens 28°C gekühlt und die Feuchtigkeit übersteigt 60% nicht.
- Die Liftbenutzer sind Leute, die in die Berge wollen und ansonsten das Postauto oder ihr eigenes Auto für den Transport benutzen würden. Das heißt die Benutzer sind keine wirklich kranken Personen.
- Personen, die an Panikattacken (Platzangst, Höhenangst etc.) werden diesen Zugang in die Berge von sich aus meiden und werden dementsprechend nicht berücksichtigt.

Der Bericht wurde in zwei Etappen erarbeitet. Zuerst wurden die Auswirkungen auf gesunde erwachsene Personen untersucht und die entsprechenden Schwellenwerte identifiziert, dieser Teil ist auf französisch geschrieben mit einer deutschen Übersetzung der Schlussfolgerungen. In einer zweiten Etappe wurde die Situation für Bébés und kleine Kinder, für Schwangere sowie für Personen mit einem angeschlagenen Herz-Kreislauf-System angeschaut, dieser Teil ist in Deutsch geschrieben.

2. Effets de la pression

Sur le plan strictement physiologique, les effets des variations de pression sont bien connus et largement documentés, notamment dans les domaines de l'aviation et de la plongée sous-marine. Il en existe 4 types: l'ébullisme, la maladie de décompression, l'hypoxie et les barotraumatismes.

L'**ébullisme** ne peut survenir que dans des environnements extrêmes qui dépassent de plusieurs ordres de grandeurs les conditions rencontrées à la *Porta Alpina*. Cet effet n'est donc pas à considérer.

Les **maladies de décompression** requièrent des variations de pression importantes, qui dépassent largement les conditions attendues à la *Porta Alpina*. A lui seul l'ascenseur ne peut donc être à l'origine d'une maladie de décompression. En revanche, les effets d'une montée en ascenseur peuvent se cumuler avec ceux d'une activité récente en milieu hyperbare pour déclencher une maladie de décompression. C'est une situation bien connue dans le domaine de la plongée sous-marine, dans lequel les montées en altitude (montagne, trajet en avion) immédiatement après la plongée sont proscrites. En principe, les prescriptions de sécurité relatives à la maladie de décompression sont connues de tous les plongeurs et le respect des délais d'attente relève de leur responsabilité. Il conviendra par contre de faire en sorte que tous les utilisateurs de l'ascenseur soient clairement informés de la différence d'altitude importante existante entre les deux stations.

L'**hypoxie** ou mal des montagnes, liée à la diminution de la pression partielle d'oxygène, survient en principe à des altitudes plus importantes que celle prévue pour la station de Sedrun. La vitesse de

montée étant un facteur aggravant dans l'apparition des troubles hypoxiques (c'est encore à vérifier), il n'est pas totalement exclu que des personnes souffrant de problèmes cardiaques ou respiratoires importants en subissent les effets. En tout état de cause, les personnes en bonne santé ne devraient pas être affectées.

Les **barotraumatismes** sont provoqués par l'expansion des gaz dans les cavités physiologiques. Lors d'une diminution de la pression extérieure, tous les gaz contenus dans les cavités fermées ou semi-fermées de l'organisme subissent une expansion de volume (loi de Boyle-Mariotte):

$$\text{Equ. 1} \quad P \cdot V = Cte \quad [\text{hPa} \cdot \text{m}^3]$$

Dans les cavités fermées ou dans les cavités munies d'un orifice insuffisant de communication avec l'extérieur (lorsque la vitesse de fuite du gaz n'est pas suffisante pour compenser la chute de pression extérieure), l'expansion des gaz internes provoque une déformation mécaniques des cavités qui est à l'origine de plusieurs effets indésirables (barotraumatisme intestinaux, pulmonaires, de l'oreille, aérodontalgies,...). Compte tenu des pressions en jeu, le **facteur limitant** dans le cas de la porta alpina est le barotraumatisme de l'oreille moyenne lors de la descente en ascenseur. L'oreille est en effet particulièrement sensible aux augmentations rapides de pression. On notera que des situations de gêne liées à l'expansion des gaz intestinaux ne sont pas à exclure, mais celles-ci devraient rester tout à fait marginales vis-à-vis des risques de barotraumatismes de l'oreille.

3. Barotraumatismes de l'oreille

L'ensemble des cavités composant l'oreille moyenne communiquent avec l'atmosphère extérieure au moyen de la trompe d'Eustache. En temps normal cette dernière s'ouvre sous l'effet d'une contraction des muscles (lors de la déglutition ou du bâillement) qui a lieu toutes les 30 à 40 secondes. De plus, une surpression de 2000 Pa entre l'oreille moyenne et la pression atmosphérique provoque l'ouverture momentanée de la trompe d'Eustache. L'équilibrage lors d'une diminution de la pression ambiante (p.ex. montée en ascenseur) est donc normalement réalisé de façon spontanée.

Lors d'une augmentation de la pression atmosphérique (p.ex. descente en ascenseur), la trompe d'Eustache se contracte et son ouverture est plus difficile. L'équilibrage des pressions ne peut alors se faire que d'une façon active (déglutition,...). Si l'équilibrage n'est pas réalisée régulièrement, la différence de pression entre l'oreille interne et externe continue à croître et devient rapidement douloureuse. Au delà d'une certaine différence de pression, l'ouverture de la trompe d'Eustache n'est plus possible et seule une diminution de la pression ambiante permet de revenir rapidement à une situation d'équilibre. A l'extrême, l'otite moyenne aiguë barotraumatique entraîne une douleur auriculaire pouvant aller jusqu'à la syncope et/ou à la rupture tympanique. Chez l'adulte en bonne santé, on estime que lorsque la pression atteint 11'000 Pa (valeur moyenne), il n'est plus possible de provoquer l'ouverture de la trompe d'Eustache, et que si la différence de pression atteint 20'000 Pa, une rupture du tympan est possible.

Les variations de pression présentes dans l'ascenseur de la porta alpina n'atteignent pas les seuils considérés comme dangereux pour les adultes en bonne santé. L'expérience a toutefois démontré que les seuils tolérables dans le cadre d'une exposition publique sont largement inférieurs à ces limites car il existe une forte variabilité inter-individuelle. Certaines catégories de populations sont particulièrement vulnérables aux variations de pression. C'est le cas notamment des enfants en bas âge, mais aussi d'adultes souffrant de problèmes ostéo-auriculaire temporaires (infections aigues ORL, affections allergiques saisonnières) ou permanents (laryngocèle, vertiges de Menière, otispongiose, otite chronique, chirurgie de l'oreille moyenne avec prothèse). Ce dernier cas est particulièrement problématique car le problème de santé n'est souvent pas connu avant l'exposition à la variation de pression. Par ailleurs, indépendamment de la situation de la rupture tympanique, l'augmentation de pression peut provoquer des gênes importantes chez les usagers. Pour ces raisons, les seules limites d'effets physiologiques ne sont pas suffisantes pour garantir le confort et la sécurité de l'ensemble des passagers et il convient d'appliquer des limites pertinentes à une installation tout public.

Outre l'otite barotraumatique, d'autres effets barotraumatiques peuvent survenir au niveau de l'oreille. C'est notamment le cas du **vertige alternobarique**. Une brusque variation de pression dans l'oreille moyenne peut aussi stimuler le système d'équilibre (système vestibulaire) de l'oreille interne et provoquer un vertige temporaire (vertige alternobarique). Selon la British Airways 10 à 17% du personnel navigant ont ressenti au moins une fois ce phénomène. Cependant, ce barotraumatisme ne provoque généralement qu'une incapacité de 10 à 15 secondes.

Des symptômes de vertige similaires au mal des transports, connus sous le nom de **mal de ski** ont aussi été rapportés dans la littérature. Les variations de pression semblent jouer un rôle dans leur occurrence. Ceux-ci semblent toutefois principalement liés à des mouvements corporels complexes (informations sensorielles conflictuelles entre les systèmes vestibulaires visuel et somatosensoriel). Aucun cas n'a été rapporté, à notre connaissance, dans le transport par ascenseur dans lequel le déplacement corporel est rectiligne.

4. Effets thermiques

En hiver des gradients de température de plus de 30° peuvent être rencontrés (-10° à Sedrun / 28° dans la station, par exemple). Les températures élevées, de 28°C ou plus représentent une charge importante pour notre système cardio-vasculaire. Mais cette question n'est pas propre à l'évaluation de risques de l'ascenseur. La question d'un brusque passage d'une température vers l'autre dans l'ascenseur, qui est une cause potentielle de choc thermique, doit par contre encore être étudiée.

5. Limites de vitesse de descente

Des limites de vitesse de descentes destinées à protéger la sécurité et le confort des passagers ont été introduites dans les domaines de l'aviation civile et des élévateurs destinés à de grandes hauteurs (mega-rise elevators). Le tableau suivant présente quelques exemples de vitesses limites utilisées dans ces domaines. Il est à noter que ces valeurs sont largement basées sur l'expérience.

domaine	exemple	Altitude Δh	Vitesse de descente
aviation civile	Aviation, boeing 737	1981 m	1.8 m/s ⁽¹⁾
	Aviation, boeing 747-300	1981 m	1.5 m/ s
mega-rise elevators	John Hancock Center	344 m	7 m/s
	Landmark Tower	267 m	12.5 m/s
	Chicago Sears Towers	410 m	8 m/s ⁽²⁾

⁽¹⁾ Des problèmes de sinusites et d'otites barotraumatiques ont été rapportés chez le personnel naviguant sur ces appareils.

⁽²⁾ La vitesse initiale de 9 m/s a été réduite à 8 m/s pour limiter les problèmes liés au confort des passagers.

La différence totale d'altitude joue un rôle important dans la vitesse optimale de descente à adopter. Cela explique en partie les grandes différences observées entre les vitesses de descente utilisées dans l'aviation et dans l'ascenseur. Les valeurs "prudentes" utilisées dans l'aviation peuvent aussi s'expliquer par un plus grand retour d'expérience (les mega-rise elevators étant plus récents) et un contexte technique légèrement différent.

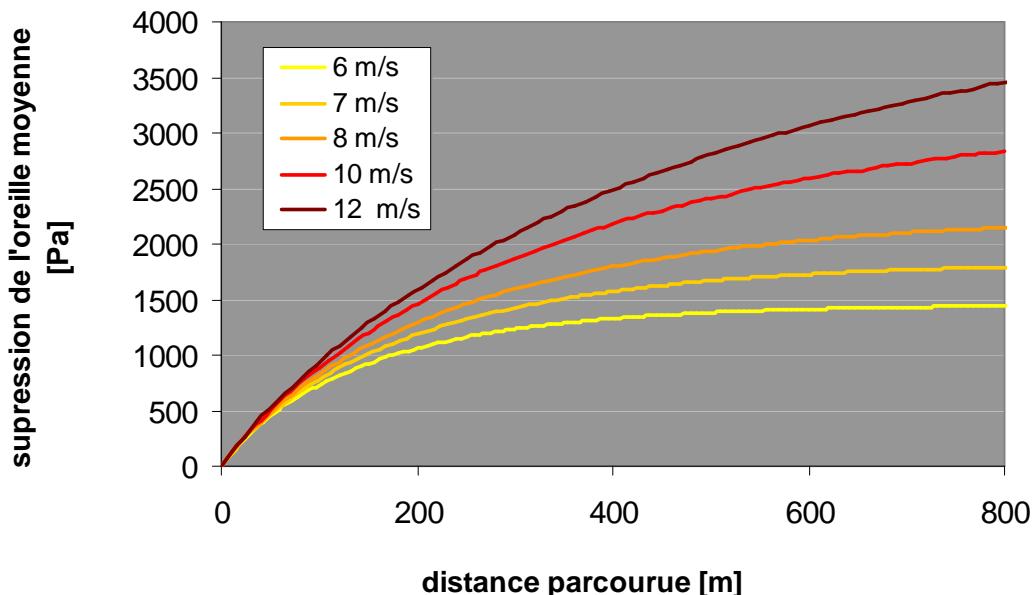
En ce qui concerne les ascenseurs, des limites de confort de 2.5-4 m/s ont été proposées pour les ascenseurs de plus de 300 mètres. On notera cependant que, en ce qui concerne les installations existantes, nous n'avons trouvé référence à aucun problème auriculaire sérieux dans la littérature en dessous d'une vitesse de descente de 7 m/s.

Compte tenu de l'élévation particulière de la Porta Alpina, et au vu des données de l'aviation civile, il ne semble pas approprié d'utiliser sans autre vérification les limites de vitesse des ascenseurs actuels. Il convient donc de déterminer, pour le cas particulier de la Porta Alpina, si la suppression de l'oreille moyenne induite par la descente de l'ascenseur reste dans des limites acceptables.

Un modèle de calcul de suppression utilisée dans l'aviation civile, et proposé par Fuller dans le contexte des Mega-rise elevators a été utilisé. Celui-ci décrit la suppression ΔP comme une fonction de la variation de pression dans l'ascenseur comme suit:

$$\frac{d\Delta P}{dt} = b - \sqrt{a \cdot \Delta P + b^2} + \frac{dP_{ascenseur}}{dt} \quad [\text{Pa/s}] \text{ avec } a = 7.078 \text{ Pa/s}^2, b = 35.412 \text{ Pa/s}$$

Suppression de l'oreille estimée pour une descente à vitesse constante



En utilisant cette relation, on peut déterminer la surpression de l'oreille moyenne chez les passagers durant la descente en ascenseur. Le calcul a été fait ici dans l'hypothèse simplificatrice ou l'intégralité des 800 de trajet sont réalisés à vitesse constante (le profil exact de vitesse n'étant pas connu).

Les résultats, présentés dans la figure ci-dessus, montrent que la limite de suppression de **1840 Pa** proposée par Fuller est atteinte avant la fin du parcours lorsque la vitesse de descente dépasse **7 m/s¹**. La vitesse de descente de 12 m/s n'est donc pas adéquate pour garantir le confort et la sécurité des passagers. De plus, la valeur de surpression proposée se base sur un retour d'expérience limité. Des ajustements ultérieurs de cette valeur limite ne sont donc pas à exclure.

On notera qu'en appliquant une limite de suppression de l'oreille moyenne, il est possible d'affiner sensiblement le profil de vitesse de descente pour optimiser le temps de parcours en réduisant les risques pour les passagers. L'équation empirique peut en effet être utilisée pour déterminer un profil de vitesse plus adapté aux contraintes physiologiques des passagers.²

¹ Ces estimations sont basées sur l'hypothèse que l'ascenseur est indépendant du tunnel du point de vue de l'aéraulique. Si les variations de pression du tunnel étaient ressenties dans l'ascenseur, la situation serait largement plus défavorable pour les passagers.

² In einem kürzlich erschienen Artikel (Funai et al 2006) wurde das Verhalten des Zwerchfelles bei verschiedenen Druckunterschieden und Liftgeschwindigkeiten sowie der Zusammenhang zwischen der Zwerchfeldeformation und Symptomen evaluiert. Funai konnte zeigen, dass die Geschwindigkeit des Lifes keinen Einfluss auf die Zwerchfeldeformationen hat. Seine Versuchspersonen wurden aber angewiesen keinen Druckausgleich (Schlucken, Valsalva-Manöver) zu machen. Wir meinen und dies ist auch physiologisch viel plausibler, dass gerade die Reduzierung der Geschwindigkeit Zeit gibt bewusst Druckausgleichsmanöver durchzuführen und damit einem Barotrauma des Ohres entgegenzuwirken.

6. Conclusions

Pour conclure nous reprenons les buts de l'évaluation :

- identifier les conditions critiques de la montée ou de la descente pour la santé et le bien-être des utilisateurs de l'ascenseur.

La condition la plus critique pour la santé et le bien-être de l'utilisateur est le risque de barotraumatisme de l'oreille lors de la descente. Comme la cinétiqe de l'augmentation de la pression est primordiale, c'est le profil de vitesse de l'ascenseur qui est le point le plus critique.

Les effets de l'hypoxie rencontrés lors de la montée sont négligeables pour la santé et le bien-être pour les personnes en bonne santé.

- Déterminer les risques et les seuils pour les personnes adultes en bonne santé.

Chez l'adulte en bonne santé, on estime lorsque la pression atteint 11'000 Pa, il n'est plus possible de provoquer l'ouverture de la trompe d'Eustache, et que si la différence de pression atteint >20'000 Pa une rupture du tympan est possible. Les variations de pression présentes dans l'ascenseur de la porta alpina n'atteignent pas les seuils considérés comme dangereux pour les adultes en bonne santé. Par contre, indépendamment de la situation de la rupture tympanique, l'augmentation de pression peut provoquer de gênes importantes chez les usagers. Le seuil pour le confort était établit en théorie est comparé/vérifié avec l'expérience existante se trouve à 1840 Pa (ΔP (oreille)) pressure tympanique. Pour garantir ce seuil de confort la vitesse de l'ascenseur est calculé à 7 m/s. Pour garantir ce seuil de confort la vitesse de l'ascenseur est calculé à 7 m/s. En l'état des connaissances actuelles, cette vitesse de descente devrait permettre de garantir le confort et la sécurité des passagers.

- Identifier des conditions de la santé critique pour l'utilisation de l'ascenseur.

Certaines catégories de populations sont particulièrement vulnérables aux variations de pression. Il reste à évaluer si le seuil de confort pour les adultes en bonne santé exclut de facto des effets plus sévères pour les personnes très jeunes ou avec des problèmes ostéo-auriculaire temporaires ou permanents.

Le cas des personnes ayant des maladies cardio-respiratoires est par ailleurs à étudier plus en détail (hypoxie, stress thermique).

7. Schlussfolgerungen

Abschliessend kurz zusammengefasst die wichtigsten Punkte der Evaluation.

- Identifikation der kritischen Bedingungen beim Benutzen des Porta Alpina Liftes (Auf- oder Abwärtsfahrt) für die Gesundheit und das Wohlbefinden.

Das Risiko eines Ohr-Barotraumas bei der Abwärtsfahrt stellt den kritischsten Punkt das. Da die Kinetik der Druckerhöhung ausschlaggebend ist für die Entstehung eines Ohr-Barotraumas resultiert als kritischster Faktor das Geschwindigkeitsprofil des Liftes.

Die Hypoxie Auswirkungen bei der Aufwärtsfahrt sind für Personen in gutem körperlichen Zustand irrelevant.

- Bestimmung eines Grenzwertes unter welchem keine negativen Auswirkungen auf gesunde Benutzer zu erwarten sind.

Wenn die Druckzunahme auf das Ohr 11'000 Pa erreicht ist es dem gesunden Erwachsenen nicht mehr möglich die Tuba Eustachi zu öffnen und ab 20'000 Pa muss man mit Trummelfellrupturen rechnen. Die Druck Variationen im Porta Alpina Lift erreichen diese Grenzwerte nicht und es besteht keine akute Gesundheitsgefährdung beim gesunden Erwachsenen. Unabhängig von der Zwerchfellruptur (Bersten des Zwerchfells) kann die Druckerhöhung auf das Ohr Schmerzen und andere negative Sensationen (Druckgefühle im Ohr und /oder Kopf, Schmerzen im Ohr oder andere, unangenehme Gefühle wie Pochen oder Sausen im Ohr) auslösen. Diese können manchmal Stunden lang anhalten. Die Grenze, welche theoretisch evaluiert wurde und mit Beispielen aus der wissenschaftlichen Literatur verifiziert wurde um solche Belästigungen auszuschliessen, liegt bei 1840 Pa Überdruck auf das Ohr. Um diesem Komfortgrenzwert einzuhalten wurde die

Maximalgeschwindigkeit des Liftes von 7m/s errechnet. Beim heutigen Stand des Wissens sollte diese Geschwindigkeit den Komfort und die Sicherheit der Benutzer garantieren.

- Identifikation der kritischen Gesundheitsbeeinträchtigung für die Liftbenutzung

Bestimmte Populations-Kategorien sind speziell anfällig auf Druckvariationen. Es bleibt zu zeigen, ob die eruierte Komfortgrenze für gesunde Erwachsene Gesundheitsschäden bei anfälligen Populationen ausschließt.

Das Risiko von Personen mit Herz-Kreislauf und Atmungserkrankungen muss noch im Detail evaluiert werden (Hypoxie, thermische Belastungen).

8. Kleinkinder

Die tubuläre Funktion und die Fähigkeit den Druck im Mittelohr auszugleichen sind beim Kind schlechter als beim Erwachsenen. Obwohl die Physiopathologie der Tuba eustachi für diese Altersgruppe nicht gut untersucht ist, weiß man, dass Kinder häufiger unter Infektionen der oberen Atemwege, chronischen Entzündungen der Mandeln sowie Mittelohrentzündungen leiden. Infektionen der oberen Atemwege und Angina's verursachen eine Schwellung (Oedem) der Rachenseitigen Öffnung der Tuba eustachi und stören damit ihre Funktion.

Die seltenen Studien über Barotraumas der Ohren beim Kind zeigen, dass das Auftreten von Ohrbeschwerden bei Zunahme des Aussendruckes (Landung, Abwärtsfahrt) bei Kindern viel häufiger ist (55%) als beim Erwachsenen (20%). Objektiv verifizierbare Veränderungen des Trommelfelles wurden bei 32% der Kinder und bei 13% der Erwachsenen gefunden. Diese Veränderungen sind glücklicherweise in 48% bei den Kindern und in 58% bei den Erwachsenen nicht gravierend und von sehr kurzer Dauer. Schwerwiegende Veränderungen mit längeranhaltenden Symptomen wurden v.a. in der Gruppe der 2-6 jährigen und bei den Teenagern angetroffen (Stangerup et al 1996).

Obwohl nicht wissenschaftlich bewiesen begünstigen alle Entzündungen der oberen Atemwege (Erkältungen) sowie eine akute Allergie (z.B. Heuschnupfen) erfahrungsgemäß die Dysfunktion der Tuba eustachi.

Abschwellende Nasentropfen (Jones et al 1998, Buchanan et al 1999) haben keinen Einfluss auf die Ohrbeschwerden. Der Einfluss von Antihistaminika (Allergie) wurde in diesem Kontext nicht untersucht. Trinken oder Knabbern während der Abwärtsfahrt wird für Kleinkinder empfohlen sowie Kaubewegungen und wiederholtes Gähnen für die Größeren, aber ohne eigentlichen Beweis der Wirksamkeit.

Um den Druck auszugleichen müssen sogenannte Valsalva-Manöver durchgeführt werden (Druckaufbau durch die Lungen im Rachenraum bei verschlossener Nase). Solche Manöver können Kinder frühestens mit 5 Jahren, ev. erst mit 10 Jahren durchführen (Stangerup et al 1996). Es existieren Ballone (Otovent™), mit welchen ein effizienter Druckausgleich erzeugt werden kann, diese Methode ist aber in der Porta Alpina kaum anwendbar im grossen Stile, da die Ballons recht teuer sind und einige Lernzeit abverlangen.

Eine direkte Extrapolation der Datenlage beim Erwachsenen auf die Kinder ist leider nicht möglich, da entsprechende Untersuchungen fehlen. Kurz zusammengefasst muss man bei der Hälfte der Kinder mit gutartigen, schnell vorübergehenden Ohrbeschwerden rechnen. Ca. 4-5% der Kinder werden länger andauernde aber reversible Ohrbeschwerden entwickeln. Das Risiko einer Trommelfellverletzung ist praktisch Null bei den für die Erwachsenen errechneten Druckveränderungsschwelle. (siehe Kapitel: Limites de vitesse de descente). Es stellt sich aber die Frage ob man auf das häufige Auftreten solcher Symptome bei Kindern bis zu 6 Jahren hinweisen soll.

9. Personen mit Herz-Kreislaufproblemen

An einem kalten Wintertag werden die Benutzer der Porta Alpina innerhalb von kurzer Zeit (2 Minuten) einer Temperaturdifferenz von über 30°C ausgesetzt (z.B. -10°C Sedrun, 28°C Wartehalle). Dies muss als Temperaturschock betrachtet werden. Die Kleider (z.B. Skianzug dämpfen diesen Schock und geben etwas mehr Zeit zur Akklimatisation. Für gesunde Erwachsene und Kinder stellt dies kein Gesundheitsrisiko dar. Die Adaptation an die Kälte oder an die Wärme stellt aber einen gewissen Stressor dar und es ist sicher nicht komfortable mit dem Skianzug längere Zeit bei 28°C zu warten. Das Kühlen des Körpers (Schwitzen) verlangt zudem Energie und resultiert in einem Wasserverlust. Es wäre sinnvoll in der Wartehalle Wasser zum freien Gebrauch bereitzustellen.

Aus experimentellen Untersuchungen ist bekannt, dass gesunde Menschen, welche der Kälte (<0°C) ausgesetzt werden, den Blutdruck erhöhen, die Fließeigenschaft des Blutes wird verändert, einerseits durch das Zusammenziehen der peripheren Blutgefäße andererseits durch eigentliche Änderungen der Blut-Viskosität (Mercer et al 1999, Donaldson et al 1997, Lecklin et al 1996).

Epidemiologische Untersuchungen zeigen deutlich, dass bei einem Absinken der Temperatur mehr Leute wegen Herz-Kreislaufprobleme ins Spital eingeliefert werden (Donaldson et al 1997, Elwood et al 1993, Thompson et al 1996, Hong et al 2003, Mercer 2003). Die Phänomene welche oben beim Gesunden beschrieben wurden, können beim Herz-Kreislauf-Geschwächten eine akute Krise auslösen. Eine ähnliche Situation erlebt man aber auch, wenn man mit dem Postauto oder Auto nach Sedrun fährt. Ob die etwas grösitere Temperaturdifferenz, da das Auto kaum auf 28°C geheizt wird, eine Rolle spielt ist nicht eruierbar. Die Sauna mit anschliessendem Eisbad ist ein guter Vergleich für die Situation der Porta Alpina. Die thermischen Bedingungen im Winter sind also nicht ungefährlich für Herzkranken, entsprechen aber einigermassen den Bedingungen anderer Transportmittel. Zudem muss die Sauerstoffpartialdruckabnahme in der Höhe miteinbezogen werden. Durch den niedrigeren Sauerstoffpartialdruck wird das Gewebe weniger gut mit Sauerstoff versorgt und eine gesteigerte Atmung und Blutdruckerhöhung ist die Antwort auf diese Situation. Dies erfolgt beim Benutzen der Porta Alpina innerhalb von 2 Minuten während im Auto dies kontinuierlich und langsam erfolgt. Dies erhöht eindeutig das Risiko für Herz-Kreislaufprobleme. Wie stark die Schnelligkeit der Sauerstoffpartialdruckabnahme ins Gewicht fällt kann nicht definitiv quantifiziert sondern nur abgeschätzt werden: das Risiko wird verglichen mit dem Benutzen des Autos etwas erhöht aber kaum beträchtlich.

Gegenteilig der landläufigen Ansicht sind die Resultate der epidemiologischen Studien bezüglich Temperaturzunahme (z.B. Hitzesommer 2003) zwiespältig (Mercer 2003). Nur wenige Studien konnten eine Zunahme von Herzproblemen durch Temperatursteigerungen belegen und die Zunahme war eher gering, die meisten Studien konnten keine solchen Zunahmen belegen. All diese Studien untersuchten Spitaleinlieferungen wegen Herzproblemen. Die Temperaturschwankungen sind dabei bedeutend geringer und können nicht wirklich mit der Situation der Porta Alpina verglichen werden. Es wurden aber keine Hinweise gefunden die ein wirkliches Herzrisiko durch eine Temperaturzunahme stützen würden.

10. Schwangere Frauen

Auch hier ist die wissenschaftliche Datengrundlage als mangelhaft zu bezeichnen, es gibt viel Literatur bezüglich Leben in der Höhe von schwangeren Frauen, meist in extremen Situationen wie in den Anden. Allgemein wird schwangeren Frauen abgeraten in Höhen über 2000 – 2500 m über Meer zu gehen wegen dem Absinken des Sauerstoff-Partialdruckes. Dass die Fluggesellschaften keine Hochschwangeren transportieren wollen, ist nicht in einem Gesundheitsrisiko begründet, sondern darin, dass die Fluggesellschaften Geburten im Flugzeug vermeiden wollen.

Physiologisch gesehen gibt es keinen Grund warum die schwangere Frau oder ihr Bébé vom Druckunterschied wie er im Lift der Porta Alpina herrscht besonders betroffen sein sollte. Auch sind beim Flugpersonal, welches ähnliche Druckunterschiede täglich sogar mehrmals durchmacht, keine Auswirkungen auf die Schwangerschaft, Geburtsgewicht oder Missbildungen des Kindes bekannt.

11. Spezielle Situationen

In bezug auf Dekompressions-Erkrankungen gibt es noch eine spezielle Situation, nämlich den Transport von Verletzten nach einem Unfall im Tunnel. Ein Transport eines Verunfallten mit dem Lift nach oben darf nur geschehen, wenn Lungenverletzungen oder Blockierungen der Atemwege ausgeschlossen werden können. Ansonsten besteht das Risiko eines Lungenbarotrauma's mit einer eventuellen Luftembolie, Pneumothorax oder Emphysem. Die Situation ist in der Porta Alpina als grenzwertig zu betrachten. Errechnet man die notwendige Druckdifferenz für ein solches Geschehen erhält man eine Höhendifferenz von ca. 1000m. Die Differenz bei der Porta Alpina beträgt nur 800m, aber das Risiko ist bei Lungenverletzten nicht gänzlich auszuschliessen. Das Rettungspersonal muss über dieses Risiko Bescheid wissen und entsprechend geschult werden.

12. Abschliessende Betrachtungen

Generell gilt, dass der Porta Alpina Lift keine eigentliche Gesundheitsgefahr für den gesunden Menschen darstellt. Ca. die Hälfte der kleinen Kinder aber werden, da die Funktion ihrer Verbindung Ohr – Rachenraum (Tuba Eustachi) schlechter ist als beim Erwachsenen und sie noch nicht fähig sind diese willentlich für den Druckausgleich zu öffnen, kurzfristig Ohrendruck oder Ohrenschmerzen, insbesondere bei der Abwärtsfahrt, erleiden. In ca 5% werden diese Schmerzen einige Zeit anhalten. Dasselbe gilt für den Erwachsenen mit akuten oder chronischen Ohrproblemen. Durch die vorgeschlagene Herabsetzung der Liftgeschwindigkeit bei der Abwärtsfahrt wird die Komfortzone vergrössert und der Benutzer gewinnt etwas Zeit um willentlich einen Druckausgleich zu initiieren, bei vorbestehenden Ohrproblemen können Symptome aber nicht ausgeschlossen werden.

Es wird vorgeschlagen auf das Auftreten von Ohrschmerzen bei Erwachsenen mit akuten oder chronischen Ohrproblemen sowie bei Kindern bei der Liftabwärtsfahrt hinzuweisen.

Die Temperaturdifferenz im Winter, zusammen mit dem abnehmenden Sauerstoffpartialdruck, stellt ein Problem für Herz-Kreislaufkranke dar, wobei im Vergleich mit anderen Transportmitteln (Auto, Bahn, Postauto) eine kleine Risikoerhöhung zu postulieren ist, welche aber zum heutigen Zeitpunkt weder quantifizierbar noch wissenschaftlich bewiesen ist.

Arbeiter in Südafrika benutzen tagtäglich Stollenlifte, welche sie mit bis zu 20m/sec bis 3000m tief in die Erde fahren, wo hohe Temperaturen herrschen. Die Arbeiter tolerieren dies gut. Dies sind aber gesunde Männer, die im Jahresrhythmus von einem Arbeitsmediziner auf ihre Arbeitstauglichkeit untersucht werden. Für das zukünftige Service-Personal der Porta Alpina, die den Lift regelmässig benutzen sind periodische arbeitsmedizinische Untersuchungen zu fordern.

Zitierte Literatur

- [1]. KORTSHOT, H. W., OOSTERVELD, W. J. Barotrauma in Boing 737 Cabin Crew. *ORL*; 55: 114-116, 1993.
- [2]. BALLESTER, M., HAUSLER, R. Le mal de ski. *Sciences et sports*. 16:272-4, 2001
- [3]. FULLER, J. W. Control of pressure – comfort and pressure in mega-rise elevator. *Elevator World*. 47(9):90-95, 1999.
- [4]. DEHART, R.L. Fundamentals of aerospace medicine. Philadelphia, 1985.
- [5]. FUNAI K et al. Analysis of tympanic membrane behavior and ear pressure discomfort for super high speed elevators. *Elevator World*, April 2006
- [6]. STANGERUP S-E. et al. Barotitis in children after aviation: prevalence and treatment with Otovent. *Journal of Laryngol Otol* 110:625-8, 1996
- [7]. BUCHANAN BJ et al. Pseudoephedrine an air-travel-associated ear pain in children. *Arch Pediatr Adolesc Med* 153:466-8, 1999

- [8]. JONES JS et al. A double-blind comparison between oral pseudoephedrine and topical oxymetazoline in the prevention of barotraumas during air travels. Am J Emerg Med 16:262-4, 1998
- [9]. MERCER JB et al. The effect of short-term cold exposure on risk factors for cardiovascular disease. Thrombosis Research 95:93-104, 1999
- [10]. DONALDSON GC et al. An analysis of arterial disease mortality and BUPA health screening data in men, in relation to outdoor temperature, Clinical Science 92:261-268, 1997,
- [11]. LECKLIN T et al. Effect of temperature on the resistance of individual red blood cells to flow through capillary sized apertures, Pflugers Archiv European Journal of Physiology, 432:753-759, 1996
- [12]. ELWOOD PC et al. Temperature and risk factors for ischaemic heart disease in the Caerphilly prospective study. British Heart Journal 70:520-523, 1993
- [13]. THOMPSON DR et al. Meteorological factors and the time of onset of chest pain in acute myocardial infarction. International Journal of Biometeorology 39:116-120, 1996
- [14]. HONG YC et al. Ischemic stroke associated with decrease in temperature. Epidemiology 14:473-478, 2003
- [15]. MERCER JB. Cold – an underrated risk factor for health. Environmental Research 92:8-13, 2003

Folgende Personen haben an diesem Bericht gearbeitet und ich möchte ihnen allen herzlichst danken für ihr Engagement und die Zeit die sie dafür aufgewendet haben:

Dr. sc. David Vernez, IST, Lausanne: Physikalische und technische Betrachtungen

Dr. J. Cherpillod, ORL Kinderspezialist, UNI-Lausanne

Prof. Hohlfeld: Gynäkologie und Geburtshilfe, Departementschef, CHUV, UNI-Lausanne

Lausanne, den 5.10.2006

Brigitta Danuser

Prof. Dr. med. Spezialistin für Arbeitsmedizin