

Hypoxie, hypercapnie en de lichamelijke gevolgen

2 november, 2020

Voltooid, peer-reviewed en geredigeerd op 9 november 2020

Boris Borovoy¹, Colleen Huber², Maria Crisler³[Oorspronkelijk artikel](#) in het EngelsCopyright [PDMJ.org](#) en de auteur(s)

Zie ook:

[Censuur vs de wetenschap rond mondkapjes](#)

Samenvatting

Het dragen van een mondkapje veroorzaakt lichamelijke veranderingen in meerdere orgaansystemen, inclusief de hersenen, hart, longen, nieren en immuunsysteem. Wij onderzochten de veranderingen in zuurstof- en kooldioxidegehalten in de 'gemaskerde luchtholte' die beschikbaar is voor de luchtwegen gedurende de eerste 45 seconden na het opzetten van een mondkapje. Onze bevindingen wat betreft een verminderd zuurstof- en een verhoogd kooldioxidegehalte in de 'gemaskerde luchtholte' komen overeen met eerdere gerapporteerde resultaten. We kijken ook naar de mate van schade aan bovengenoemde orgaansystemen, waarvan bekend is dat die daar optreedt wanneer ze zich in een staat van hypoxie⁴ en hypercapnie⁵ bevinden. De uitstoot van kooldioxide, dat via de cellen in het lichaam terechtkomt en dan via de longblaasjes en de luchtwegen het lichaam verlaat, is niet eerder in de menselijke geschiedenis zo massaal bewust belemmerd, uitgezonderd enkele zeldzame menselijke experimenten. Zelfonthouding van zuurstof is ook onbekend in de natuur en wordt zelden geprobeerd door mensen. We onderzoeken de lichamelijke gevolgen van dit experiment.

Mondkapjes en hypercapnie

1. Veroorzaken mondkapjes systemische hypercapnie?

Luchtwegobstructie is een reeds lang erkende oorzaak van retentie (vasthouding) van kooldioxide en van respiratoire acidose.⁶ Vergeleken met de omgevingslucht blijft het kooldioxideniveau aan de binnenkant van het mondkapje aanhoudend hoog, wat op zijn beurt tot een geringe mate van hypercapnie leidt. Het *is bekend* dat het opnieuw inademen van uitgeademde lucht niet alleen het CO₂-gehalte in de beschikbare lucht snel doet stijgen tot boven 5000 ppm (parts per million), maar ook de arteriële CO₂-concentratie en de acidose.⁷ Wat óók deel kan uitmaken van het mechanisme dat ten grondslag ligt aan 'mondkapjeshypercapnie' (hypercapnie veroorzaakt door het dragen van een mondkapje) is het vocht aan de buitenkant van het mondkapje dat de uitgeademde kooldioxide verhindert te ontsnappen. Een *deel* van het kooldioxide dringt door het mondkapje heen naar buiten en verspreidt zich door de lucht, vooral als de lucht droog is, maar er is ook een deel dat vastgehouden wordt door waterdamp en mondkapjesvocht, en dat vormt samen met het water een zwak, instabiel zuur dat weer teruggeleid wordt naar de luchtwegen en de longen. Het mechanisme houdt in dat de retentie van CO₂ tot een toename van pCO₂ (de hoeveelheid opgelost kooldioxide in het arteriële bloed). Dit is de belangrijkste versturende factor bij respiratoire acidose. Het resulteert in een verhoogde concentratie in zowel HCO₃⁻ (bicarbonaat - een negatief geladen molecuul dat de zuurgraad in het bloed in stand kan houden) als H⁺ (de waterstofionenconcentratie), wat zich vertaalt in een lagere pH-waarde.

¹ Boris A. Borovoy (MPH) heeft een Master in Public Health (publieke gezondheidszorg) van de Medische Academie in Moskou (First Moscow State Medical University). Hij werkt als onafhankelijk onderzoeker.

² Colleen Huber (NMD) is naturopathisch arts en naturopathisch oncoloog (FNORI). Zij schrijft over onderwerpen zoals mondkapjes, COVID-19, kanker en voeding.

³ Maria Crisler is microbioloog.

⁴ Hypoxie is de medische term voor een tekort aan zuurstof in de weefsels, waardoor in de cellen een tekort aan zuurstof ontstaat en zij niet optimaal kunnen functioneren.

⁵ Hypercapnie is de medische term voor een te hoog kooldioxidegehalte in het bloed.

⁶ Dit houdt kort gezegd in dat de zure stoffen het lichaam niet goed via de ademhaling kunnen verlaten.

⁷ Jacobson, T. A., Kler, J. S. e.a., *Direct Human Health Risks of Increased Atmospheric Carbon Dioxide*, Nature Sustainability, dl. 2, pag. 691-701 (2019), <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0323-1>, <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0323-1>.

Mondkapjes verhogen de 'respiratoire drive' (de ademhalingsdrang) en zorgen voor bronchodilatatie (verwijding van de luchtwegen) bij milde hypercapnie, doordat gevoelige chemoreceptoren pH-veranderingen registreren in het 'liquor cerebrospinalis' (hersenvocht). Wanneer uiteindelijk ernstige hypercapnie optreedt, leidt dat tot een verminderde respiratoire drive.

Hypercapnie wordt algemeen erkend als een onafhankelijke risicofactor bij sterfte.^{8, 9, 10, 11} Een aantal orgaansystemen wordt negatief beïnvloed, waaronder de hersenen, hart, longen, immuunsysteem en het musculoskeletale systeem (het bewegingsapparaat - de beenderen en spieren).^{12, 13}

Hoe snel stijgt het kooldioxidegehalte aan de binnenkant van het mondkapje?

We hebben een nieuwe gekalibreerde kooldioxidemeter gebruikt om de omgevingslucht in de testruimte te meten, en vervolgens maten we het kooldioxidegehalte in de lucht aan de binnenkant van elk van de drie mondkapjes (een chirurgisch wegwerpmasker, een N95-masker en een stoffen masker). We maten de hoeveelheid kooldioxidedeeltjes in de lucht aan de binnenkant van het mondkapje in ppm (parts per million). De totale meting werd uitgevoerd met intervallen van vijf seconden (elke vijf seconden werd de uitlezing vernieuwd). We gebruikten dezelfde intervallen bij het meten van het kooldioxidegehalte in ppm. De maximale waarde die de meter kan aangeven is 10.000 ppm.

De tabel met die waarden vindt u in Tabel 1, waar de gemiddelde waarden van elke interval in de eerste 45 seconden getoond worden. Na 45 seconden steeg de waarde tot boven het maximum van de meter (10.000 ppm), zodat ze vanaf dat moment niet meer door de meter uitgelezen konden worden.

Tabel 1: gemeten kooldioxide (in ppm) in de 'gemaskerde luchtruimte'

	Binnenlucht	5 sec.	10 sec.	15 sec.	20 sec.	25 sec.	30 sec.	45 sec.	60 sec.	75 sec.	90 sec.
Chirurgisch masker	1072	1298	1757	2256	2995	3215	3306	3074	3378	5483	7472
	1072	1086	1317	1667	2221	2792	3526	6479	7755	9964	>10.000
	1074	1202	1502	2400	2619	2746	2948	4794	5994	8095	>10.000
	1089	1211	1357	3090	5520	8230	9381	>10.000			
	989	1265	1700	3257	4221	5412	6764	9465	>10.000		
	1026	1363	2590	3392	4384	5377	6263	>10.000			
Gemiddeld	1045,3	1237,5	1703,8	2677,0	3660,0	4628,7	5364,7	7302,0			
N-95 masker	1050	1323	1834	2518	3184	4281	4689	7042	9684	>10.000	
	1037	1517	3360	4133	4708	5315	5394	9082	>10.000		
	1049	1475	1599	1800	1911	2773	6346	6563	>10.000		
	1083	1292	1834	3312	3730	3901	4140	5692	7855	>10.000	
	1073	1450	1975	2621	3820	4407	5629	7279	9240	>10.000	
	1033	1266	1583	1926	2874	3392	4371	8921	>10.000		
Gemiddeld	1054,2	1387,2	2030,8	2718,3	3371,2	4011,5	5094,8	7429,8			

⁸ Sin, D. D., Man, S. F. P., Marrie, T. J., *Arterial Carbon Dioxide Tension on Admission as a Marker of In-hospital Mortality in Community-acquired Pneumonia*, The American Journal of Medicine, 1 febr. 2005, dl. 118, nr. 2, pag. 145-150.
[https://www.amjmed.com/article/S0002-9343\(04\)00680-1/fulltext](https://www.amjmed.com/article/S0002-9343(04)00680-1/fulltext), <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2004.10.014>.

⁹ Murtagh, P., Giubergia, G. e.a., *Lower Respiratory Infections by Adenovirus in Children. Clinical Features and Risk Factors for Bronchiolitis Obliterans and Mortality*, Pediatric Pulmonology, 9 april 2009, dl. 44, nr. 5, pag. 450-456.
<https://www.nature.com/articles/s41598-018-32008-x#ref-CR10>, <https://doi.org/10.1002/ppul.20984>.

¹⁰ Nin, N., Muriel, A., Peñuelas, O. e.a., *Severe Hypercapnia and Outcome of Mechanically Ventilated Patients with Moderate or Severe Acute Respiratory Distress Syndrome*, Intensive Care Medicine (43), pag. 200-208 (2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5630225>.

¹¹ Moser, K. M., Shibel, E. M., Beamon, A. J., *Acute Respiratory Failure in Obstructive Lung Disease. Long-Term Survival After Treatment in an Intensive Care Unit*, JAMA, 13 aug. 1973, 225(7) 705-707.
<https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/349944>, <https://doi.org/10.1001/jama.1973.03220340019004>.

¹² Chandrasekaran, B., Fernandes, S., *Exercise with Facemask; Are we Handling a Devil's Sword? - A Physiological Hypothesis*, Medical Hypotheses, 2020 Nov; 144:110002, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7306735/>, <https://dx.doi.org/10.1016/j.mehy.2020.110002>.

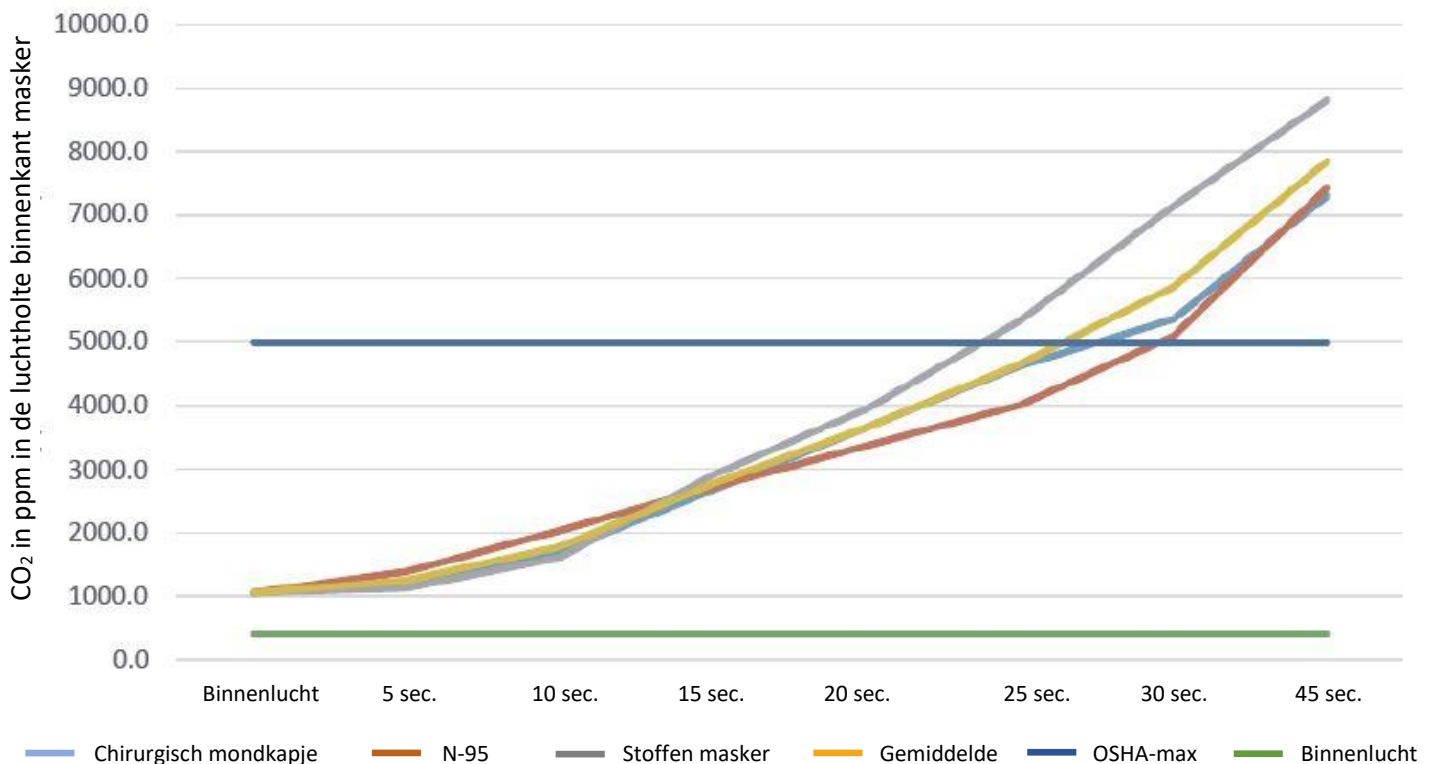
¹³ Joyner, M. J., Casey, D. P., *Regulation of Increased Blood Flow (Hyperemia) to Muscles During Exercise: A Hierarchy of Competing Physiological Needs*, Physiological Reviews, 1 april 2015, 95(2) 549-601.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25834232/>, <https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2013>.

Stoffen masker	Binnenlucht	5 sec.	10 sec.	15 sec.	20 sec.	25 sec.	30 sec.	45 sec.	60 sec.	75 sec.	90 sec.
1084	1084	1115	1718	2218	2725	3300	4914	6494	8410	>10.000	
1066	1066	1057	1558	2467	3644	6369	8480	>10.000			
1050	1050	1189	1686	3573	4400	5080	5768	8966	>10.000		
1062	1062	1200	1685	4129	5848	7863	>10.000				
1051	1051	1078	1430	2301	3580	5087	8555	>10.000			
1044	1044	1115	1569	2772	3503	4321	5149	7385	9260	>10.000	
Gemiddeld	1059,5	1125,7	1607,7	2910,0	3950,0	5336,7	7144,3	8807,5			

Als we kijken naar de tijd waarin onze metingen nog niet boven de maximale waarde uitkomen die de meter kan meten, dan kunnen we die weergeven in een grafiek (grafiek 1) die de gemiddelde stijging van het kooldioxide aan de binnenkant van elk mondkapje weergeeft tijdens de eerste 45 seconden.

Grafiek 1

CO₂-concentratie in ppm in de luchtholte aan de binnenzijde v.h. mondkapje in de eerste 45 seconden



De horizontale blauwe lijn in Grafiek 1 vertegenwoordigt de maximaal toelaatbare CO₂-concentratie in de omgevingslucht van de werkruimte gedurende een 8 uur durende werkdag. Deze waarde is bepaald door de (Amerikaanse) Occupational Safety and Health Administration (OSHA¹⁴) van het Amerikaanse equivalent van het Nederlandse Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (vroeger het Ministerie van Arbeid). De groene horizontale lijn vertegenwoordigt het normale CO₂-gehalte in de binnenlucht (rond de 400 ppm).

Na het opzetten van elk mondkapje zagen we dat het CO₂-gehalte in de gemaskerde luchtruimte al binnen 30 seconden boven de aanvaardbare waarde steeg die de OSHA heeft bepaald.

¹⁴ De Amerikaanse versie van de Nederlandse Inspectie SZW (in 2012 ontstaan door samenvoeging van de Arbeidsinspectie, de Inspectie Werk en Inkomen en de Sociale Inlichtingen- en Opsporingsdienst).

De stijging van de CO₂-concentratie verliep bij elk soort mondkapje vrijwel gelijk in de tijd dat het mondkapje gedragen werd. Deze resultaten zijn consistent met de bekende data over de kooldioxideconcentratie in de beschikbare lucht aan de binnenzijde van het mondkapje.¹⁵

Industriële werkruimtestandaarden voor de CO₂-concentratie die vastgesteld zijn door de OSHA, zijn bedoeld voor de normale omgevingslucht in de werkruimte. Die standaarden gelden al sinds 1979. De OSHA heeft echter geen standaarden vastgesteld voor de CO₂-concentratie in de gemaskerde luchtruimte. We onderzoeken deze standaarden voor de beschikbare omgevingslucht en vergelijken die met de CO₂-concentratie in de gemaskerde luchtruimte, omdat we in beide gevallen moeten kijken naar de CO₂-concentratie *in de lucht die beschikbaar is voor de luchtwegen en de longen*.

De Amerikaanse Voedsel- en Warenautoriteit (onderdeel van het Ministerie van Landbouw) merkt op dat koolzuurgas (kooldioxide) gebruikt wordt om zowel pluimvee als varkens te doden.¹⁶ De concentratie van dit gas is dus van belang met betrekking tot het dragen van mondkapjes door mensen. Dat overheidsorgaan publiceert de volgende waarschuwingen:

5.000 ppm = 0,5% is de OSHA Toelaatbare Concentratie voor Blootstelling¹⁷ gedurende 8 uur (dus verdeeld over een hele werkdag).¹⁸ Elk van de door ons geteste mondkapjes overschreed die concentratie in de gemaskerde luchtruimte binnen de eerste 25-30 seconden na het opzetten.

Na een kortdurende blootstelling aan 10.000 ppm treedt volgens de OSHA geen effect op dan alleen misschien een soezig of doezelig (slaperig) gevoel. Bij blootstelling aan 20.000 ppm adviseert de Voedsel- en Warenautoriteit: 'Betreedt geen ruimten waarin de CO₂-concentratie hoger dan 20.000 ppm is, totdat middels ventilatie de concentratie is teruggebracht tot een veilig niveau.' We doen er goed aan te beseffen dat elk van de mondkapjes die we hebben bestudeerd alleen al binnen de eerste minuut tot de helft van deze concentratie was gestegen.

Bij een blootstelling aan 30.000 ppm = 3% CO₂ zien we 'een matige respiratoire stimulatie, een versnelde hartslag en een verhoogde bloeddruk.'

Bij 40.000 ppm = 4% is volgens de OSHA de CO₂-concentratie 'direct gevaarlijk voor de gezondheid en kan zij zelfs levensbedreigend zijn'.¹⁹

Van hypercapnie is bekend dat het vrij snel in alle lichaamscellen intracellulaire acidose kan veroorzaken. Er is geen manier om de schade alleen tot de longen te beperken vanwege de voortdurende gasuitwisseling. Dat wil zeggen dat er geen bekende manier is om de effecten van hypercapnie te beperken tot de longen.

De effecten van hypercapnie doorlopen bepaalde stadia: eerst is er een compenserende poging tot respiratoire ventilatie²⁰ (simpel gezegd een sterkere prikkel tot ademen), een verzwaarde ademhaling, hyperpnea (geforceerde ademhaling); veranderingen in het zenuwstelsel met de daarmee gepaard gaande veranderingen in motorische vaardigheden, gezichtsscherpte, beoordelingsvermogen en cognitie (logisch denken, begripsvorming, zintuiglijke waarneming), cerebrale vasodilatatie²¹ met een toenemende druk in de schedel en hoofdpijn, stimulatie van het sympathische zenuwstelsel²²,

¹⁵ Zhaoshi, Z., *Potential Risks When Some Special People Wear Masks*, commentaar 18 april 2020 onder het volgende artikel: *Masks and Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)*, door Desai, A. N. (MD, MPH) en Aronoff, D. M. (MD): <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2764955>.

¹⁶ Veiligheidsinformatieblad voor kooldioxide, Voedsel- en Warenautoriteit, Ministerie van Landbouw.

<https://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/bf97edac-77be-4442-aea4-9d2615f376e0/Carbon-Dioxide.pdf?MOD=AJPERES>.

Hier kunt u het Nederlandse veiligheidsinformatieblad downloaden: <http://www.lco2.info/pdf/NKC%20Veiligheidsinformatieblad%20UN1013%20-%20Koolzuur%20in%20cilinders.pdf>. De MAC-waarde (tegenwoordig de TLV) bedraagt ook in Nederland 5000 ppm. MAC staat voor Maximaal Aanvaarde Concentratie. Tegenwoordig wordt de Engelse term TLV gebruikt. Deze afkorting staat voor Threshold Limit Value.

¹⁷ In het Engels de Permissible Exposure Limit, de grenswaarde voor toegestane blootstelling.

¹⁸ Occupational Chemical Database: Carbon Dioxide. US Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration.

<https://www.osha.gov/chemicaldata/chemResult.html?recNo=183>.

¹⁹ 'Immediately dangerous to life or health', oftewel 'Onmiddellijk gevaarlijk voor leven of gezondheid'.

<https://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/bf97edac-77be-4442-aea4-9d2615f376e0/Carbon-Dioxide.pdf?MOD=AJPERES> (pag. 2).

²⁰ De verplaatsing van lucht in en uit de longen door het ademhalingsstelsel, oftewel de uitwisseling van lucht tussen de atmosfeer en de longen.

²¹ Verwijding van de bloedvaten in de hersenen.

²² Dit maakt deel uit van het autonome zenuwstelsel. Waar de parasympathicus het rempedaal van het lichaam is, is de sympathicus het gaspedaal, waarbij ook adrenaline een rol speelt.

resultierend in tachycardie²³, en ten slotte - in het geval van extreme hypercapnie - een depressie van het centrale zenuwstelsel (sedatie, apneu, verminderde mentale waakzaamheid, cyanose, coma, cardiovasculaire collaps).^{24, 25}

De effecten van hypercapnie op de longen en het immuunsysteem

Onze uitgeademde lucht bevat ongeveer 5 procent (50.000 ppm) CO₂. Dat is meer dan 100 keer de gemiddelde CO₂-concentratie in de binnenlucht, die gemiddeld 0,04 procent bedraagt. De hoeveelheid CO₂ in de uitgeademde lucht is dus 10 keer zo hoog dan de bovengrens die de OSHA (zie voetnoot 14) hanteert voor omgevingslucht. Maar eenieder van ons ademt die concentratie elke keer uit bij het ademen. Is het verstandig om onze eigen uitgeademde lucht weer in te ademen?

Een studie onder zorgmedewerkers (zie noot 26) toonde verhoogde CO₂-concentraties en verminderde O₂-concentraties in de 'dode ruimte' achter het N95-mondkapje (terwijl zij op een loopband liepen). Binnen een uur na het opzetten van het mondkapje, kwamen deze waarden 'significant boven (voor CO₂) en beneden (voor O₂) de standaardwaarden voor de omgevingslucht uit'.²⁶ Het uitademingsventiel van het N95-mondkapje liet geen significante verandering zien in het effect op de pCO₂ (de partiële druk van CO₂ in bloed).²⁷

Hypercapnie heeft een aantal schadelijke effecten op de longen. Deze effecten lijken te beginnen met de verstoring van Na⁺K⁺-ATPase²⁸, dat leidt tot een aangetaste of verzwakte alveolaire vocht-reabsorptie. Dat resulteert in alveolair oedeem (longoedeem), wat op zijn beurt de optimale gasuitwisseling verstoort.²⁹ Hypercapnie bemoeilijkt ook het herstel van de alveoli (longblaasjes) door de groei van 'alveolaire epitheelcellen'³⁰ te verhinderen door de afremming van de citroenzuurcyclus, hetgeen resulteert in mitochondriale dysfunctie.^{31, 32}

Door hypercapnie, samen met vocht- en temperatuurveranderingen in respectievelijk het mondkapje en de bovenste luchtwegen, worden de cilia (trilharen) onbeweeglijk gemaakt. Hierdoor zijn mondkapjesdragers sneller vatbaar voor infecties in de onderste luchtwegen³³ omdat de oropharyngeale (orale) flora dieper in de luchtwegen komt.³⁴ De onderste luchtwegen zijn gewoonlijk steriel door de werking van de cilia die verontreinigingen en micro-organismen naar boven transporteren, naar de openingen van de luchtwegen (mond en neus). Een belemmering van dit proces, zoals bijvoorbeeld optreedt bij hypercapnie, kan deels een verklaring zijn voor de correlatie tussen hypercapnie en een toename in sterfgevallen door longinfecties.

²³ Een toestand waarbij het hart in rust klopt met een frequentie van meer dan 100 slagen per minuut.

²⁴ *Acid-Base Physiology*, 4.4 Respiratory Acidosis - Metabolic Effects. https://www.anaesthesiamcq.com/AcidBaseBook/ab4_4.php.

²⁵ Jon Williams (PhD), Jaclyn Krah Cichowicz (MA) e.a., *The Physiological Burden of Prolonged PPE Use on Healthcare Workers during Long Shifts*, US Centers for Disease Control and Prevention, 10 juni 2020. <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2020/06/10/ppe-burden>. Jaclyn Krah Cichowicz is de Health Communications Specialist aan het National Institute for Occupational Safety and Health.

²⁶ Roberge, R. J., Coca, A. e.a., *Physiological Impact of the N95 Filtering Facepiece Respirator on Healthcare Workers*, *Respiratory Care*, mei 2010; 55(5) 569-577: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20420727>.

²⁷ De pCO₂ is een bloedgastest die de hoeveelheid kooldioxide opgelost in arterieel bloed meet. Als de pCO₂ hoger is, zal het bloed zuurder zijn.

²⁸ ATPases zijn enzymen die zich in het membraan van cellen bevinden en die kunnen werken als ionenpomp, dat wil zeggen dat ze ionen tegen hun elektrochemische gradiënt in de cel in of uit kunnen transporteren en zo een concentratiegradiënt opbouwen. Zie voor meer informatie over specifiek Na⁺K⁺-ATPase: <https://nl.wikipedia.org/wiki/ATPase>.

²⁹ Shigemura, M., Lecuona, E., Sznajder, J. I., *Effects of Hypercapnia on the Lung*, *The Journal of Physiology*, 3 jan. 2017.

<https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1113/JP273781>, <https://doi.org/10.1113/JP273781>.

³⁰ De celbekleding van de wand van de longblaasjes.

³¹ Mitochondriale dysfunctie houdt in dat er minder zuurstof via de longen naar de cellen wordt vervoerd. Door een tekort aan zuurstof schakelt het lichaam sneller over van een verbranding *met* zuurstof (achttien keer zo effectief) naar een verbranding *zonder* zuurstof.

³² Vohwinkel, C. U., Lecuona, E., Sun, H. e.a., *Elevated CO(2) Levels Cause Mitochondrial Dysfunction and Impair Cell Proliferation*, *The Journal of Biological Chemistry*, 28 okt. 2011, 286(43) 37067-76.

<https://www.doi.org/10.1074/jbc.M111.290056>, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21903582>.

³³ De bovenste luchtwegen bestaan uit de neus, de keel en het strottenhoofd (boven de stembanden). De onderste luchtwegen bestaan uit de luchtpijp, de luchtpijptakken (bronchiën) en het longweefsel (longblaasjes).

³⁴ Kempeneers, C., Seaton, C. e.a., *Ciliary Functional Analysis: Beating a Path towards Standardization*, *Pediatric Pulmonology*, okt. 2019, 54(10) 1627-1638, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31313529/>, <https://doi.org/10.1002/ppul.24439>.

Hypercapnie correleert ook met een verhoogd sterftcijfer onder ziekenhuispatiënten met Community Acquired Pneumonia.^{35, 36} Dit lijkt door een aantal factoren te komen, inclusief het feit dat hypercapnie IL-6³⁷ en TNF³⁸ afremt, alsook de meer algemene immunofunctie van de cellen³⁹, inclusief de immunofunctie van de alveolaire macrofagen.⁴⁰

Wat ook werd aangetoond, is dat hypercapnie een downregulatie⁴¹ veroorzaakt van genen die betrokken zijn bij de immunrespons. De onderzoekers die dit uitvoerig hebben bestudeerd, ontdekten dat 'hypercapnie de natuurlijke epitheliële immunrespons tegen microbiële pathogenen en andere inflammatoire (d.i. ontsteking veroorzakende) stimuli onderdrukt'.⁴² Zij ontdekten ook onderdrukkende effecten van hypercapnie op de functie van macrofagen, neutrofielen en alveolaire epitheelcellen.⁴³ Hypercapnie bleek ook de bacteriële 'clearance' (de opruiming van bacteriën) in ratten te verminderen.⁴⁴

In het vorige deel (2)⁴⁵ van deze serie ontdekten we een historische correlatie tussen een 'hypercapnische praktijk' - in dit geval het dragen van mondkapjes - en een sterke stijging in sterfgevallen ten gevolge van een bacteriële longontsteking. Die periode werd ten onrechte ook wel de tijd van de Spaanse griep genoemd. Het zou te ver voeren en de scopus van deze studie te buiten gaan om die redenen hier uitgebreid te bespreken. Het onderzoeksteam van dr. Fauci ontdekte dat de doodsoorzaak van elk opgegraven lijk uit die tijd (1918-1919) een bacteriële longontsteking was, veroorzaakt door luchtwegbacteriën die gewoonlijk in de bovenste luchtwegen voorkomen.⁴⁶

Veel voorkomende (algemene), levensbedreigende ziekten die veroorzaakt worden door een (gedeeltelijk) belemmerde luchtdoorstroming tijdens het ademen, betreffen *obstructieve* longziekten zoals astma, COPD, bronchiëctasie (blijvende verwijding van de bronchiën) en longemfyseem, alsook *restrictieve* ziekten zoals klaplong, longatelectase⁴⁷, Idiopathic Respiratory Distress Syndrome (IRDS)⁴⁸

De effecten van hypercapnie op het bloed

Overtollig kooldioxide wordt exclusief gebufferd in het intracellulaire vocht, met name in de rode bloedcellen. CO₂ passeert de celmembranen door diffusie, lost op in water en wordt vervolgens omgezet in H⁺ en HCO₃⁻. Het waterstof wordt vervolgens gebufferd door intracellulaire eiwitten zoals hemoglobine en organische fosfaten. De prijs die de rode

³⁵ Community Acquired Pneumonia (CAP) is in tegenstelling tot Hospital Acquired Pneumonia (HAP: minstens 72 uur in een verpleeg- of ziekenhuis) een longontsteking die men buiten het ziekenhuis (dus gewoon in de open samenleving) heeft opgelopen.

³⁶ Laserna, E., Sibila, O., Aguilar, P. R. e.a., *Hypocapnia and Hypercapnia are Predictors for ICU Admission and Mortality in Hospitalized Patients with Community-acquired Pneumonia*, Chest, nov. 2012, 142(5) 1193-1199.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22677348/>, <https://doi.org/10.1378/chest.12-0576>.

³⁷ Interleukine-6 (IL-6) is een eiwit dat wordt gecodeerd door het IL-6 gen. Het is een cytokine en is betrokken bij zowel pro-inflammatoire als anti-inflammatoire reacties.

³⁸ TNF (tumornecrosefactoren) vormen een subgroep van cytokines die celdood (apoptosis) of celoverleving kunnen veroorzaken.

³⁹ Lardner, A., *The Effects of Extracellular pH on Immune Function*, Journal of Leukocyte Biology, april 2001, 69(4) 522-30.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11310837>.

⁴⁰ Lang, C., Dong, P. e.a., *Effect of CO₂ on LPS-induced Cytokine Responses in Rat Alveolar Macrophages*, American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology, juli 2005, 289(1) L96-L103. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15778246/>, <https://doi.org/10.1152/ajplung.00394.2004>.

⁴¹ Met up- en downregulatie wordt in de biologie doorgaans bedoeld op de regulatie van de activiteit van bepaalde op cellen gelegen receptoren door hormonen. Met downregulatie bedoelt men vermindering van de activiteit, gevoeligheid of het aantal van deze receptoren; met upregulatie de vergroting hiervan. Ook wordt met het begrippenpaar wel geduid op het stimuleren dan wel afremmen van gen-expressie.

⁴² Casalino-Matsuda, S. M., Wang, N., Ruhoff, P. T. e.a., *Hypercapnia Alters Expression of Immune Response, Nucleosome Assembly and Lipid Metabolism Genes in Differentiated Human Bronchial Epithelial Cells*, Scientific Reports 8, artikelnummer: 13508, sept. 2018.

<https://www.nature.com/articles/s41598-018-32008-x>.

⁴³ Macrofagen en neutrofielen zijn twee van de zeven verschillende soorten witte bloedcellen.

⁴⁴ O'Croinin, D. F., Nichol, A. D. e.a., *Sustained Hypercapnic Acidosis During Pulmonary Infection Increases Bacterial Load and Worsens Lung Injury*, Critical Care Medicine, juli 2008, 36(7) 2128-35. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18552698/>, <https://doi.org/10.1097/ccm.0b013e31817d1b59>.

⁴⁵ <https://ademvrij.nu/microbiologische-uitdagingen-bij-mondkapjesgebruik>, <http://www.eddymaatkamp.nl/articles/mondkapjes-gevaren-2.pdf>.

Het oorspronkelijke Engelstalige artikel: https://pdmj.org/papers/masks_false_safety_and_real_dangers_part2 (Borovoy, B. A., Huber, C., Crisler, M.).

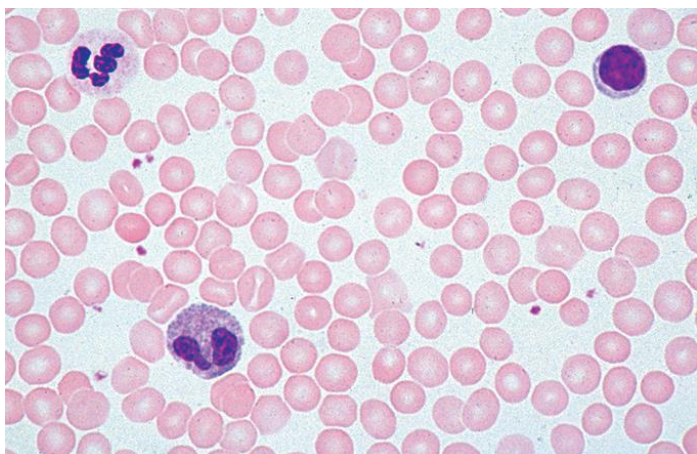
⁴⁶ Morens, D. M., Taubenberger, J. K., Fauci, A. S., *Predominant Role of Bacterial Pneumonia as a Cause of Death in Pandemic Influenza: Implications for Pandemic Influenza Preparedness*, The Journal of Infectious Diseases, dl. 198, nr. 7, 1 okt 2008, pag. 962-970.

<https://academic.oup.com/jid/article/198/7/962/2192118>, <https://doi.org/10.1086/591708>.

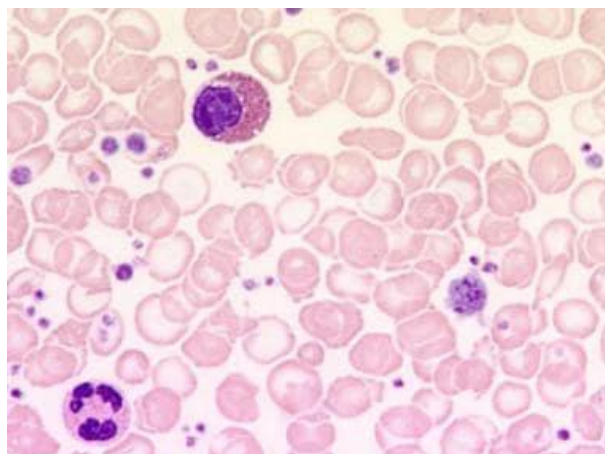
⁴⁷ Soms kunnen de bronchiën en bronchioli verstopt raken waardoor de luchtdoorstroming wordt geblokkeerd. Hierdoor kunnen de longen, of delen ervan, ineensklappen. Deze aandoening wordt 'atelectase' genoemd. Zo'n blokkade kan door verschillende oorzaken ontstaan: vreemde indringers in de luchtwegen, druk door borsttumoren, vastzittend sputum of slijm of andere longafwijkingen.

⁴⁸ Soms ook wel 'shocklong' genoemd. Dit is een levensbedreigende plotselinge ontstekingsreactie in de longen waarbij zich vocht ophoopt dat zuurstofopname bemoeilijkt.

bloedcellen betalen voor dat bufferen, wordt duidelijk als we kijken naar de verschillen tussen onderstaande foto's. Aan de linkerkant zien we normale rode bloedcellen, en aan de rechterkant zien we beschadigde en uitgeputte rode bloedcellen.



[Oorspronkelijke bron foto](#)



[Oorspronkelijke bron foto](#)

Op de rechter foto zien we de gevolgen van secundaire polycythemie.⁴⁹ Dat is een bekend gevolg van hypoxie. Deze abnormale bloedwaarde kan ook gecorreleerd worden aan uitdroging ten gevolge van het dragen van een mondkapje. Het Amerikaanse Nationale Instituut voor Veiligheid en Gezondheid op het Werk (NIOSH)⁵⁰ zegt dat 'bepaalde eigenschappen van PBMs (persoonlijke beschermingsmiddelen) een lichamelijke ... belasting kunnen vormen voor de zorgmedewerker'. En 'uitdroging kan een groot probleem worden tijdens het dragen van PBMs'.⁵¹ Individuen die last hebben van uitdroging lopen het risico op relatieve erythrocytose⁵², dat zich kan manifesteren als polycythemia vera⁵³. Polycythemia vera is een onafhankelijke risicofactor voor andere soorten kanker, en wordt gewoonlijk behandeld door levenslange behandeling met bloedverduuners. Polycythemie ontwikkelt zich langzaam gedurende vele jaren. Lopen de mondkapjesdragers van vandaag het risico om in de toekomst deze vorm van bloedkanker te krijgen?

De effecten van hypercapnie op de nieren

De nieren hebben als taak de schade te compenseren die door respiratoire acidose wordt aangericht in de bloedstroom. Zij moeten waterstofionen uitscheiden en het nieuw aangemaakte HCO_3^- reabsorberen. De Henderson-Hasselbalch-vergelijking⁵⁴ laat zien wat de mate is waarin de toename van HCO_3^- compenseert voor de verzuurde toestand.

$$\text{pH} = \text{pK} + \log\left[\frac{[\text{HCO}_3^-]}{(\text{Pco}_2)}\right]$$

De hoeveelheid HCO_3^- is een weergave van de renale⁵⁵ of metabolische compensatie, terwijl de pCO_2 (zie noot 27) een weergave is van de primaire verstoring - obstructie van de luchtwegen als eerste oorzaak van de acidose.⁵⁶

⁴⁹ Polycythemie is een stoornis waarbij het gehalte aan rode bloedcellen (erythrocyten) in het bloed - de hematocrietwaarde - te hoog is. Secundaire polycythemie is een compensatieverschijnsel bij chronisch zuurstofgebrek.

⁵⁰ US National Institute of Occupational Health. De Europese versie hiervan is het Europees Agentschap voor Veiligheid en Gezondheid op het Werk. In Nederland is dat de Inspectie SZW: https://oshwiki.eu/wiki/OSH_system_at_national_level_-_Netherlands.

⁵¹ Williams, J., Cichowicz, J. K., Hornbeck, A. e.a., *The Physiological Burden of Prolonged PPE Use on Healthcare Workers during Long Shifts*, US Centers for Disease Control and Prevention, NIOSH Science Blog, 10 juni 2020. <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2020/06/10/ppe-burden>.

⁵² Bij relatieve erythrocytose ontstaat er een hoog hematocriet door een afname van het plasmavolume, bijvoorbeeld bij dehydratie (uitdroging).

⁵³ Bij polycythemia vera is er in het beenmerg een overproductie van rode bloedcellen en vaak ook van bloedplaatjes en witte bloedcellen.

⁵⁴ De Henderson-Hasselbalch-vergelijking is een vergelijking opgesteld door Lawrence Joseph Henderson en Karl Albert Hasselbalch om de pH-waarde van een buffersysteem te berekenen. Ook wordt de vergelijking gebruikt om de pH van biologische en chemische systemen te bepalen en om de pH te berekenen waarbij een zuur-base-reactie in evenwicht is.

⁵⁵ Renaal: gerelateerd aan de nieren.

⁵⁶ Costanzo, L., *Physiology*, W. B. Saunders Company, 1998, pag. 286-287.

De nieren tonen een verminderde GFR⁵⁷ en een verminderde urine-uitscheiding, alsook een toename in de intrarenale vasculaire weerstand⁵⁸ door hypercapnie.⁵⁹ De acidurie (een toename van de zuurtegraad in de urine) neemt toe. Dit is een compensatiemechanisme om zuur uit te kunnen scheiden. Daardoor worden op hun beurt de nierbuisjes beschadigd en verslechtert de nierfunctie van hen die behept zijn met een of meer chronische ziekten.⁶⁰

De effecten van hypercapnie op het hart- en vaatstelsel

Een hypercapnische patiënt kan warm zijn, een rood gezicht en een versnelde hartslag hebben. Een verhoogde polsdruk en zweten kunnen ook optreden. Als er duidelijk sprake is van hypoxie kan dat ook gepaard gaan met een onregelmatige hartslag. Bij een partiële druk (pCO₂) van 90 mmHg in het arteriële bloed is leven niet mogelijk, omdat hypercapnie noodzakelijkerwijs gepaard gaat met hypoxie, in dit geval met een pO₂ van 37.⁶¹ Er is wel opgemerkt dat gemaskerde patiënten vaak een versnelde hartslag hebben, maar daar zullen wij straks wat dieper op ingaan.

De effecten van hypercapnie op het centrale zenuwstelsel

Effecten op het centrale zenuwstelsel, zoals hoofdpijn, vermoeidheid, zich duizeligheid en een slaperig gevoel zijn algemene effecten van COPD.^{62, 63} In deze cohort⁶⁴ patiënten zien we ook problemen bij de proprioceptie⁶⁵, een instabiele houding en gang, en neervallen, met sterke aanwijzingen dat deze door hypercapnie veroorzaakt worden.⁶⁶ We zien een progressief toenemende sedatie door mondkapjesgebruik, en een toenemende intercraniële druk (druk in de hersenen en het hersenvocht). Hoofdpijn is een algemene klacht van mondkapjesdragers, wat toegeschreven kan worden aan hypercapnie.⁶⁷ Een toename in de partiële druk van CO₂ in het bloed (pCO₂) leidt tot een toename in de cerebrale bloeddoorstroming, een toename van het cerebrale bloedvolume, en als gevolg daarvan tot een toename in de intercraniële druk.⁶⁸ Deze bevindingen komen overeen met de andere medische resultaten van het lichamenlijk onderzoek.

Na het inademen van 4,5 tot 7,5 procent CO₂ gedurende 20 minuten werd een verminderde prestatie waargenomen bij taken waarbij het redeneringsvermogen nodig is.⁶⁹ Wanneer de proefpersonen blootgesteld werden aan 2.500 ppm CO₂ in de binnenlucht, ontdekten we dat hun besluitvaardigheid afnam met 93 procent, wat vergelijkbaar is met dronken zijn of het hebben van een hoofdwond.⁷⁰ Bij hetzelfde CO₂-niveau ontdekten we dat hun gezichtsvermogen ook afnam. Ditzelfde CO₂-niveau maten we na 15 seconden in de gemaskerde luchtruimte.

⁵⁷ De nierfunctie, de GFR (glomerular filtration rate), kan geschat worden op basis van de creatinewaarde in het bloed. Dit getal geeft aan hoeveel bloed de nieren per minuut kunnen filteren/zuiveren. Bij een gezond persoon is dat meer dan 90 milliliter per minuut. Deze waarde neemt af naarmate iemand ouder wordt. Bij een bejaard persoon kan een waarde van 30 tot 45 milliliter per minuut nog normaal zijn.

⁵⁸ Een aanduiding voor de mate waarin de bloedvaten in de nieren de bloeddorstroming bemoeilijken.

⁵⁹ Yartsev, A., *Pharmacology of Carbon Dioxide*, Deranged Physiology, (online publicatie: 6 dec. 2015, laatste update: 3 juni 2020).

<https://derangedphysiology.com/main/cicm-primary-exam/required-reading/respiratory-system/Chapter%20311/pharmacology-carbon-dioxide>.

⁶⁰ Voulgaris, A., Marrone, O. e.a., *Chronic Kidney Disease in Patients with Obstructive Sleep Apnea. A Narrative Review*, Sleep Medicine Reviews, okt. 2019;47:74-89. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31376590>, <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2019.07.001>.

⁶¹ Brandis, K., Medicine Libre Texts, 6.4, *Metabolic Effects (4.4.3)*, 13 aug. 2020.

⁶² De afkorting van het Engelse 'chronic obstructive pulmonary disease', een chronisch obstructieve longziekte (er is dus een aanhoudende obstructie (vernauwing) in de longen).

⁶³ Smith, C. L., Whitelaw, J. e.a., *Carbon Dioxide Rebreathing in Respiratory Protective Devices: Influence of Speech and Work Rate in Full-face Masks*, Ergonomics, 21 maart 2013; 56(5) 781-90. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23514282>, <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.777128>.

⁶⁴ Een cohort is een grote groep personen die gedurende langere tijd wordt onderzocht bij medisch of sociaalwetenschappelijk onderzoek.

⁶⁵ Proprioceptie of positiezin (ook wel kinesthesie genoemd) is het vermogen van een organisme om de positie van het eigen lichaam en lichaamsdelen waar te nemen.

⁶⁶ Stevens, D., Jackson, B. e.a., *The Impact of Obstructive Sleep Apnea on Balance, Gait, and Falls Risk: A Narrative Review of the Literature*, The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences, 13 nov. 2020 (online febr. 2020); 75(12) 2450-2460. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32039438>, <https://doi.org/10.1093/gerona/glaa014>.

⁶⁷ Lim, E. C. H., Seet, R. C. S. e.a., *Headaches and the N95 Face-mask Amongst Healthcare Providers*, Acta Neurologica Scandinavica, mrt. 2006; 113(3) 199-202. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16441251>, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2005.00560.x>.

⁶⁸ Fabregas, N., Fernández-Candil, J., *Hypercapnia*, dec. 2016, in het boek *Complications in Neuroanesthesia*, pag. 157-168.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128040751000201?via%3Dihub>, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804075-1.00020-1>.

⁶⁹ Sayers, J. A., Smith, R. E. e.a., *Effects of Carbon Dioxide on Mental Performance*, Journal of Applied Physiology, juli 1987; 63(1) 25-30. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3114218>, <https://doi.org/10.1152/jappl.1987.63.1.25>.

⁷⁰ Satish, U., Mendell, M. J. (corresponderend auteur) e.a., *Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance*, Environmental Health Perspectives, dec. 2012; 120(12) 1671-1677.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3548274>, <https://dx.doi.org/10.1289/ehp.1104789>.

Zelfs lagere CO₂-concentraties hadden schadelijke effecten. Een blootstelling aan 1000 ppm CO₂ had een negatieve invloed op het cognitieve vermogen, zoals probleemoplossing en besluitvorming.⁷¹ We maten 1000 ppm CO₂ in de gemaskeerde luchtruimte binnen de eerste paar seconden na het opzetten.

Mondkapjes en hypoxie

1. Mondkapjes veroorzaken hypoxie bij de dragers

Bij 53 chirurgen, allen niet-rokers en zonder een chronische longziekte, was een afname in de zuurstofsaturatie te zien (gemeten met een pulsoxymeter - deze meet de arteriële pulsering en de zuurstofverzadiging) terwijl zij opereerden met een mondkapje op. Na de operaties nam de zuurstofverzadiging in beide leeftijdsgroepen (onder en boven de 35 jaar) gestaag af, maar in de groep van boven de 35 jaar was er een grotere afname te zien.⁷² Bij 39 nierpatiënten in het eindstadium van hun ziekte, die 4 uur lang een N95-mondkapje droegen tijdens de hemodialyse (bij hemodialyse wordt het bloed buiten het lichaam gezuiverd), was een duidelijke afname van de PaO₂⁷³ waarde te zien gedurende die tijd. De gemiddelde afname in PaO₂ werd bepaald aan de hand van een 'PaO₂ baseline'⁷⁴ van 101,7 tot 15,8, p = 0.006. De ademhalingsfrequentie nam toe van 16,8 tot 18,8 ademhalingen per minuut, p < 0,001. Een onbehaaglijk gevoel in de borst en ademhalingsproblemen werden door alle proefpersonen gerapporteerd.⁷⁵

Hypoxie is een gezondheidsrisico

Hypoxie is dodelijk. Elk jaar lopen veel werknemers schade of sterven er zelfs werknemers door zuurstofgebrek.⁷⁶ 'Er zijn rapporten van werknemers die een mangat hebben geopend van een ruimte met een tekort aan O₂ die stierf alleen al doordat hij zijn hoofd in die ruimte had gestoken. De lage zuurstofconcentratie resulteerde in een gevoel van euforie en de werknemers begrepen niet dat zij alleen maar achterover hoefden te leunen en uit het mangat te glijden om zodoende hun leven te redden.'⁷⁷

De kwestie mondkapjesgebruik is vooral van belang voor kinderen. Bij kinderen is een hypox(em)ische toestand nog meer een noodgeval dan bij volwassenen. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door hun meer horizontale ribben en hun wat rondere borst, met als gevolg dat om adem te halen kinderen primair de spieren van het diafragma gebruiken, en in veel mindere mate de zogenaamde intercostale spieren (tussen de ribben), zoals bij volwassenen het geval is. Die diafragma-spieren hebben naar verhouding minder type 1 of Slow Twitch spiervezels (voor langzame spiertrekkingen), wat sneller tot vermoeidheid leidt.⁷⁸ Ook is het zo dat de tong van een kind relatief groot is in verhouding tot de grootte van de keelholte, en het strotklepje is slap.⁷⁹ Deze anatomische verschillen maken een kind potentieel veel kwetsbaarder voor een hypoxemische aanval dan een volwassene.

Op grond van deze informatie zijn wij van mening dat het dringend noodzakelijk is dat kinderen ontheven worden van elke vorm van mondkapjesplicht.

⁷¹ Azuma, K., Kagi, N. e.a., *Effects of Low-level Inhalation Exposure to Carbon Dioxide in Indoor Environments: A Short Review on Human Health and Psychomotor Performance*, Environment International, dec. 2018; 121(Pt 1) 51-56.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30172928>, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.059>.

⁷² Beder, A., Büyükoçak, Ü. e.a., *Preliminary Report on Surgical Mask Induced Deoxygenation During Major Surgery*, Neurocirugia, 2008, pag. 121-126. <http://scielo.isciii.es/pdf/neuro/v19n2/3.pdf>.

⁷³ De partiële zuurstofdruk in het arteriële bloed.

⁷⁴ Een baseline is het startpunt - de eerste gegevens die de basis vormen voor metingen in de toekomst. Vanuit die basis kunnen veranderingen worden waargenomen die positief, negatief of neutraal zijn.

⁷⁵ Kao, T. W., Huang, K. C. e.a., *The Physiological Impact of Wearing an N95 Mask during Hemodialysis as a Precaution against SARS in Patients with End-stage Renal Disease*, Journal of the Formosan Medical Association (Formosa is het huidige Taiwan), aug. 2004; 103(8) 624-8.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15340662>.

⁷⁶ US Bureau of Labor Statistics. News Release. USDL-11-1247. National Census of Fatal Occupational Injuries in 2010. Preliminary Results. Aug. 25 2011. https://www.bls.gov/news.release/archives/cfoi_08252011.htm, https://www.bls.gov/news.release/archives/cfoi_08252011.pdf.

⁷⁷ Spelce, D., McKay, R. T. e.a., *Respiratory Protection for Oxygen Deficient Atmospheres*, Journal of the International Society for Respiratory Protection, apr. 2016; 33(2). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7183576>.

⁷⁸ Fedor, K. L., *Noninvasive Respiratory Support in Infants and Children*, Respiratory Care, juni 2017, dl. 62(6) 699-717.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28546373>, <https://doi.org/10.4187/respcare.05244>.

⁷⁹ Weinstein, J., Smith, J., *Pediatric BIPAP*, Journal of Emergency Medical Services, 19 sept. 2019.
<https://www.jems.com/patient-care/pediatric-bipap>.

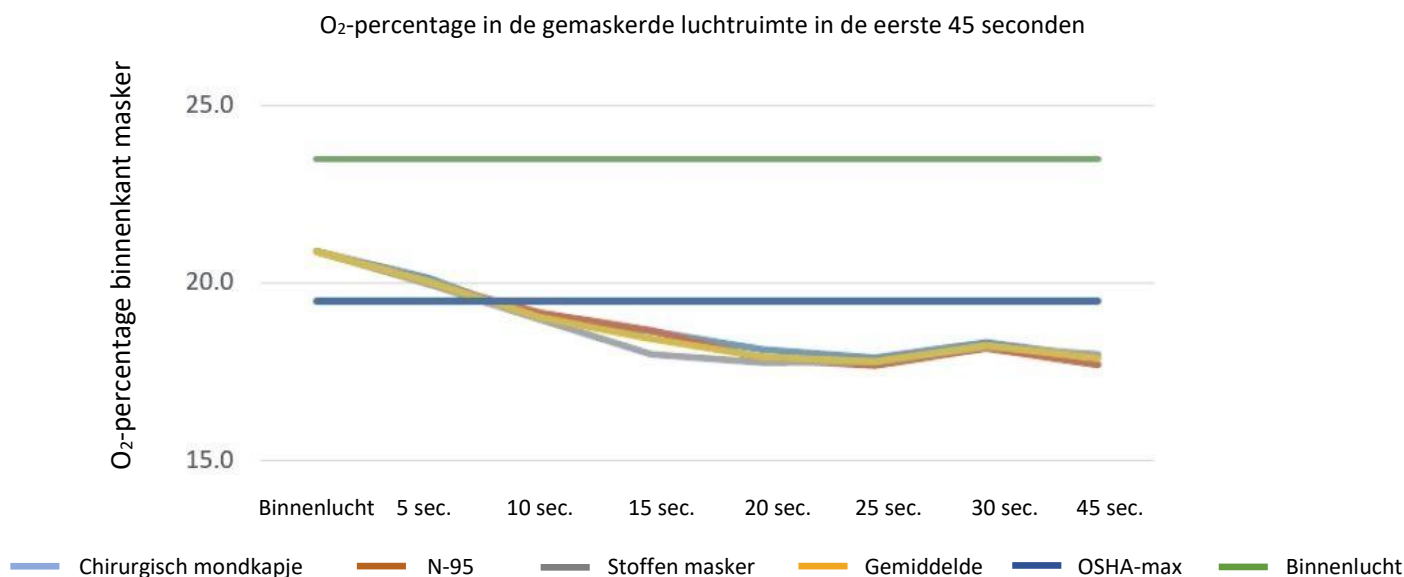
Hypoxie en mondkapjes

Om het zuurstofpercentage in de gemaskerde luchtruimte te kunnen bepalen, voerden wij 6 onderzoeken (die elk 45 seconden duurden) met de 3 eerdergenoemde typen maskers: een chirurgisch wegwerpmasker, een N95-mondkapje en een gewassen stoffen mondkapje. We hebben de gemiddelden van elk type mondkapje weergegeven en die vergeleken met de OSHA-werkruimte-eisen voor de lucht die beschikbaar is voor de luchtwegen.

Tabel 2: het gemeten zuurstofpercentage in de 'gemaskerde luchtruimte'

	Binnenlucht	5 sec.	10 sec.	15 sec.	20 sec.	25 sec.	30 sec.	45 sec.	60 sec.
Chirurgisch masker	20,9	20,2	19,2	19,1	18,5	19,1	18,4	18,1	17,7
	20,9	20,1	18,9	18,7	18,1	17,7	18,1	17,9	17,4
	20,9	20,3	18,7	18,1	18,1	18,2	17,9	17,6	17,7
	20,9	19,6	19,1	18,7	17,7	17,1	18,5	17,1	17,5
	20,9	19,8	19,1	18,9	18,2	17,4	18,7	18,6	16,7
	20,9	20,9	19,0	18,4	18,2	17,9	18,4	18,2	18,6
Gemiddeld	20,9	20,2	19,0	18,7	18,1	17,9	18,4	18,2	18,6
N-95 masker	20,9	20,0	19,1	18,1	17,7	18,2	18,4	17,2	17,4
	20,9	19,7	19,3	18,5	17,3	18,0	18,3	18,2	16,7
	20,9	19,6	18,1	16,8	18,4	18,2	17,8	17,5	17,1
	20,9	20,1	19,4	19,1	18,0	17,6	18,3	17,2	17,8
	20,9	19,8	19,3	19,0	17,8	16,9	18,1	18,2	17,4
	20,9	20,9	19,8	18,7	18,0	17,2	18,1	17,9	17,7
Gemiddeld	20,9	20,0	19,2	18,7	17,9	17,7	18,2	17,7	17,4
Stoffen masker	Binnenlucht	5 sec.	10 sec.	15 sec.	20 sec.	25 sec.	30 sec.	45 sec.	60 sec.
	20,9	19,6	19,5	17,7	16,7	17,5	17,5	16,7	17,5
	20,9	20,1	19,2	17,2	17,1	16,9	17,1	17,0	17,4
	20,9	20,2	19,3	18,4	18,4	18,2	19,0	17,9	17,1
	20,9	20,0	18,9	18,6	19,0	19,8	19,3	18,8	18,7
	20,9	20,1	18,4	18,3	17,7	17,3	17,9	18,1	17,7
20,9	19,9	18,6	17,8	17,7	17,0	18,5	18,5	17,1	
Gemiddeld	20,9	20,0	19,0	18,0	17,8	17,8	18,2	18,0	17,6

Grafiek 2



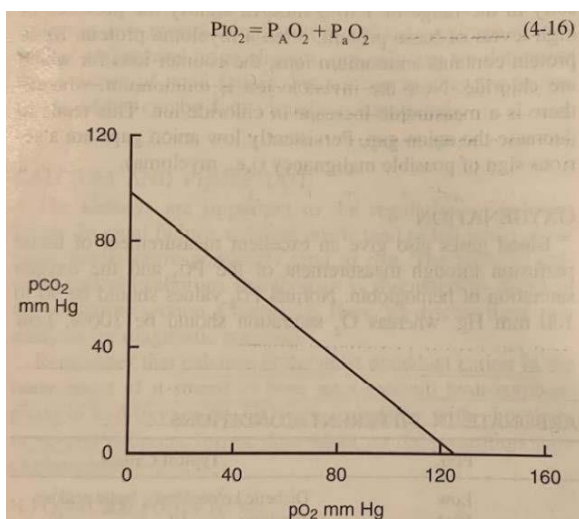
In Grafiek 2 zien we voor alle mondkapjes gelijksoortige resultaten, en dat in elk type mondkapje de beschikbare zuurstof als percentage van het beschikbare luchtvolume in minder dan 10 seconden na het opzetten van het mondkapje afnam tot beneden het door de OSHA vereiste minimumpercentage van 19,5 procent⁸⁰ en ook onder die grens bleef. De ademhaling leek oppervlakkig te blijven tot 30 seconden na het opzetten van het mondkapje. Na die 30 seconden zagen we een toename in de 'respiratoire drive' (ademhalingsdrang) - de poging om extra zuurstof in de luchtwegen te krijgen door de poriën en de open spleten aan de zijkanten en bovenkant van het mondkapje, maar dat resulteerde niet in een stijging van het O₂-gehalte tot boven de OSHA minimum-eis van 19,5 procent in de beschikbare lucht.

De hierboven weergegeven resultaten komen overeen met de bekende afname van de zuurstofconcentratie in de gemaskerde luchtruimte.⁸¹ De standaarden voor de zuurstofconcentratie in de lucht die beschikbaar is voor werknemers zijn zo stringent bepaald door de OSHA en worden zo krachtig afgedwongen dat in een werkruimte met een laag zuurstofgehalte, dat de toegang van werknemers tot de werkruimte beperkt wordt door sloten of met andere barrières. Monitoring van de zuurstofconcentratie is vereist voordat er toegang verleend wordt, en de ruimte moet voldoen aan de OSHA zuurstofconcentratiestandaarden gedurende de hele tijd dat er in de ruimte gewerkt wordt.⁸² Is de ruimte voor de beschikbare luchtstroom naar de luchtwegen minder belangrijk om te beschermen tegen een lage zuurstofconcentratie alleen omdat het de zeer kleine ruimte is tussen het mondkapje en de openingen naar de luchtwegen?

De United States Code of Federal Regulations eist in paragraaf (d) van 29 CFR 1910.134 'dat de werkgever de respiratoire gevaren in de werkruimte moet evalueren, de relevante werkruimte- en gebruikersfactoren moet identificeren, en de keuze van een specifieke respirator daarop moet baseren'. Hiertoe behoort ook 'een redelijke schatting van de blootstelling van werknemers aan gezondheidsrisico's voor de luchtwegen'. Uitzonderingen zijn toegestaan 'als de werkgever de moeilijke bewijslast kan leveren dat de zuurstofconcentratie betrouwbaar genoeg gereguleerd kan worden zodat deze binnen de gestelde grenswaarden blijft'.⁸³ Maakt dit werkgevers aansprakelijk voor gezondheidsschade bij werknemers die een mondkapje dragen?

Hypoxie gaat samen met hypercapnie

Door retentie (vasthouding) van CO₂ neemt de hoeveelheid beschikbare O₂ af (zoals bijvoorbeeld bij COPD). Terwijl het CO₂-gehalte in de longblaasjes stijgt, neemt het beschikbare volume voor O₂ in de lucht af. 'Voor elke toename in de PaCO₂ (partiële druk van het kooldioxide in de longblaasjes) zal er een meer dan één op één reductie in de PaO₂ of 'alveolaire zuurstofspanning' zijn, wat resulteert in ernstige zuurstoftekorten, zoals geïllustreerd in de volgende grafiek.'⁸⁴



Figuur 4-3

Het effect van een toename in pCO₂ op de pO₂ in de longblaasjes en het arteriële bloed.

De figuur toont aan dat als de pCO₂ stijgt er een meer dan één op één reductie van pO₂ is.

⁸⁰ US Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration, *Confined or Enclosed Spaces and Other Dangerous Atmospheres* » *Oxygen-Deficient or Oxygen-Enriched Atmospheres*. <https://www.osha.gov/SLTC/etools/shipyard/shiprepair/confinedspace/oxygendeficient.html>.

⁸¹ Zhaoshi, Z., *Potential Risks When Some Special People Wear Masks*, No. 1 Department of Neurology, The Third Hospital of Jilin University. <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2764955> (tweede commentaar onder 'comments' onder het artikel).

⁸² Luther, C., *OSHA Oxygen Concentration Standards*, 15 sept. 2015. <https://work.chron.com/osha-oxygen-concentration-standards-15047.html>.

⁸³ Spelce, D., McKay, R. T. e.a., *Respiratory Protection for Oxygen Deficient Atmospheres*, *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, apr. 2016; 33(2). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7183576>.

⁸⁴ Henry, J., *Henry's Clinical Diagnosis and Management by Laboratory Methods*, 19^e ed. W. B. Saunders Co., 1996, pag. 86.

De effecten van hypoxie op de hersenen

Hypoxie - dat is wanneer er te weinig zuurstof beschikbaar is voor het ademhalingsstelsel en voor de weefsels in het lichaam in het algemeen - stimuleert de mitochondriën om 'reactieve zuurstofcomponenten' (ROS) te genereren.⁸⁵ Alle lichaamsweefsels zijn kwetsbaar voor ROS, maar het zijn vooral de hersenen die kwetsbaar zijn. ROS beschadigen lipiden, eiwitten en het DNA. De hersenen bestaan voor ongeveer 60-70 procent uit lipiden, bevat weinig anti-oxidanten en is daarom extra kwetsbaar voor ROS-schade.⁸⁶ Voor onvolgroeide hersenen is het probleem nog groter. Slecht ontwikkelde reinigingssystemen en de ruime beschikbaarheid van vrij ijzer, maakt de hersenen van een kind - met name de neuronen en oligodendrocyten⁸⁷ - kwetsbaar voor oxidatieve schade door vrije radicalen.

Een biochemisch mechanisme van hypoxische schade aan de hersenen is dat hypoxie een 'kallikreïne-bradykinine-stikstofmonoxide'-route⁸⁸ stimuleert.⁸⁹ Als gevolg hiervan kan de bloed-hersenbarrière (de grens tussen de hersenen en het lichaam) meer doordringbaar worden. Dit kan dan weer resulteren in extravasatie (uittreding door de wand van de bloedvaten) van plasma-eiwitten en hersenoedeem.⁹⁰

De bekende Duitse neuroloog en neurofysioloog dr. Margarite Griesz-Brisson zegt het volgende over de mondkapjesplicht voor kinderen: 'Het kindere brein moet leren en heeft zuurstof nodig om te kunnen functioneren. We hebben echt geen klinische studie nodig omdat dat te weten. Het is simpele, onbetwistbare wetenschap.' Ze waarschuwt voor een 'tsunami aan gevallen van dementie' in de toekomst vanwege het zuurstofgebrek dat ontstaat door de huidige mondkapjesplicht. Ze wijst op het reeds lang onderkende fysiologische feit dat het opnieuw inademen van uitgeademde lucht enerzijds zuurstofgebrek en anderzijds een te hoge kooldioxideverzadiging veroorzaakt.

Normalisatie is een waargenomen fenomeen in de medische wetenschap waarbij een individu zich aanpast aan nadelige condities. Mondkapjesdragers kunnen geloven dat ze gewend zijn geraakt aan het dragen van een mondkapje, maar de effecten van degeneratieve processen in de hersenen nemen toe gedurende de tijd waarin het zuurstofgebrek optreedt.⁹¹

De effecten van hypoxie op het hart- en vaatstelsel

Er is vastgesteld dat mondkapjesdragers harder hun best doen om adem te krijgen en een grotere inspiratoire flow (d.i. de luchtstroom bij het inademen) hebben dan niet-dragers. Op zijn beurt versterkt dit de vasoconstrictieve⁹² uitstroming (van bloed, onder invloed van het sympathische zenuwstelsel) naar de skeletspieren in de ledematen. Na het opzetten van het mondkapje, zelfs bij rust, neemt de gemiddelde arteriële bloeddruk toe met 12 mmHg, terwijl de hartslagfrequentie (HF) toeneemt met 27 slagen per minuut.⁹³ Het hartminuutvolume (de hoeveelheid bloed die het hart per minuut

⁸⁵ Reactieve zuurstofcomponenten, vaak aangeduid met de afkorting ROS (Reactive Oxygen Species), vormen een groep reactieve chemische componenten met zuurstof als belangrijkste bestanddeel. Voorbeelden zijn peroxides, superoxides, het hydroxylradicaal en singlet zuurstof (Wiki).

⁸⁶ Carbonell, T., Rama, R., *Respiratory Hypoxia and Oxidative Stress in the Brain. Is the Endogenous Erythropoietin an Antioxidant?* Current Chemical Biology, dl. 3, nr. 3, 2009. <https://doi.org/10.2174/2212796810903030238>.
<https://www.eurekaselect.com/93407/article/respiratory-hypoxia-and-oxidative-stress-brain-endogenous-erythropoietin-antioxidant>.

⁸⁷ Dit zijn speciale cellen (gliacellen) die de neuronen verzorgen door de toevoer van voedingsstoffen, het onderhoud van de structuur of de versnelling van de neurale geleiding zelf.

⁸⁸ Een 'route' in de zin van een weg waarlangs of manier waarop het gevormd kan worden. - *Vertaler*.

⁸⁹ Padhy, G., Gangwar, A. e.a., *Plasma Kallikrein-Bradykinin Pathway Promotes Circulatory Nitric Oxide Metabolite Availability During Hypoxia*, Nitric Oxide, dl. 55-56, 1 mei-1 juni 2016, pag. 36-44. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1089860316300155>.
<https://doi.org/10.1016/j.niox.2016.02.009>.

⁹⁰ Greenwood, J., *Mechanisms of Blood-brain Barrier Breakdown*, Neuroradiology, 1991; 33(2) 95-100. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2046916>.
<https://doi.org/10.1007/bf00588242>.

⁹¹ Griesz-Brisson, M., *German Neurologist On Face Masks: 'Oxygen Deprivation Causes Permanent Neurological Damage'*.

<https://www.technocracy.news/german-neurologist-on-face-masks-oxygen-deprivation-causes-permanent-neurological-damage>. Aanvulling vertaler: dr. M. Griesz-Brisson (MD, PhD) is een van de leidende topwetenschappers in haar vakgebied (neurologie, neurofarmacologie en neurotoxicologie) in Europa (<https://www.topdoctors.co.uk/doctor/margareta-griesz-brisson>). Er zijn echter fact-checkers die wat dr. Griesz-Brisson in de media heeft gezegd over het gebrek aan bescherming tegen virussen door mondkapjes niet klopt 'omdat virussen zich als golven voortbewegen, en dat als jij op en neer springend door een deuropening probeert te gaan, je er waarschijnlijk ook niet doorheen komt, zodat grootte niet altijd wat uitmaakt'. Dat is dus het niveau van de fact-checkers (...). Over de penetratie van de verschillende mondkapjes is in deze vierdelige serie van dr. Huber al genoeg gezegd (ook over het 'flipperkast-effect'), met talloze verwijzingen naar peer reviewed studies. Voor een uitgebreid artikel over de informatieoorlog die er woedt rond mondkapjes zie [Masking Ourselves to Death: A Stunning Propaganda Win for Voodoo Epidemiology](#), door dr. Mark Crispin Miller, PhD: https://markcrispinmiller.com/wp-content/uploads/2020/09/mcm_masks_first_half_indent_quotes_plus.docx.

⁹² Vasoconstrictie is de vernauwing van de bloedvaten, waardoor de bloeddruk stijgt.

⁹³ St. Croix, C. M., Morgan, B. e.a., *Fatiguing Inspiratory Muscle Work Causes Reflex Sympathetic Activation in Humans*, The Journal of Physiology, 1 dec. 2000; 529 Pt 2(Pt 2) 493-504. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11101657>, <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.00493.x>.

wegpompt) neem toe, alsook de verlenging van de QT-interval.⁹⁴ Vasoactieve effecten zijn o.a. systemische arteriële vasodilatatie (verwijding v.d. bloedvaten) en pulmonale arteriële vasoconstrictie (vernauwing van de bloedvaten in de longen). Zelfs bij een lage werkdruk in een hypoxische omgeving werd er niet alleen een toename in de hartslagfrequentie en de bloeddruk waargenomen, maar ook een verhoogde druk in de aorta en de linker hartkamer, met als gevolg een overbelasting van het hart en de kransslagaderen.⁹⁵

Laten we nu even kijken naar de mechanismen achter deze verschijnselen. Telkens wanneer er een hypoxemische aanval in het lichaam optreedt, fungeert het hemoglobine als de eerste sensor. De rode bloedcellen worden gestimuleerd om stikstofmonoxide te produceren, dat zorgt voor vasodilatatie en een verhoogde bloedtoevoer. Hypoxie verlaagt de grens die nodig is om dit te veroorzaken.⁹⁶ Deze verwijding van de bloedvaten is een poging tot bescherming van de weefsels tegen een hypoxemische aanval, en als gevolg daarvan krijgt de persoon een tachycardie (zie voor uitleg noot 23) en wordt hij onrustig.

De effecten van hypoxie op erytropoëse⁹⁷

Het dragen van een mondkapje resulteert in een verminderde zuurstoftransport naar de lichaamsweefsels. Het gevolg daarvan is dat er meer erythrocyten (rode bloedcellen) aangemaakt worden. Als de hypoxie blijft aanhouden, dan ontstaat er een tekort aan vrij 2,3-DPG (2,3-difosfoglycerinezuur). Dit leidt tot een meer glycolyse. Dat leidt weer tot de productie van meer 2,3-DPG, wat de affiniteit van hemoglobine voor zuurstof vermindert (hemoglobine heeft een veranderende affiniteit voor zuurstof). Het gevolg van dit alles is dat er zuurstof wordt weggeleid van vitale organen (hersenen, lever, nieren en hart) naar andere weefsels. Een lage oxygenatie (voorziening van zuurstof) stimuleert de aanmaak van erythropoëtin (epo), wat resulteert in een verhoogde productie van rode bloedcellen.⁹⁸

Waarom zouden we ons bewust blootstellen aan voortdurende hypoxie, wat immers leidt tot weefselhypoxie in vitale organen en een verhoogde productie van rode bloedcellen? Aandoeningen gerelateerd aan erythroïde hyperplasie⁹⁹ zijn bijvoorbeeld (maar beperken zich niet tot) acute myeloïde leukemie (AML), congenitale (aangeboren) dyserythropoëtische anemie¹⁰⁰, micro-angiopathische hemolytische anemie¹⁰¹ en sideroblastische anemie.^{102, 103} Op hun beurt kunnen die aandoeningen het risico op polycythemia vera vergroten, een ziekte die gekenmerkt wordt door verdikking van het bloed door een overproductie van rode bloedcellen. In feite is het zo dat zuurstofgebrek de meest algemene oorzaak van polycythemia vera is.¹⁰⁴

Hypoxie en het maag-darmstelsel

Hypoxie en hypoxie-afhankelijke signaalroutes¹⁰⁵ worden steeds beter begrepen en steeds meer onderkend wat betreft hun rol in het ontstaan van maag-darmziekten. Weefselhypoxie wordt onderkend als een kenmerk van chronische darm-

⁹⁴ De QT-interval is de tijd tussen het begin van het QRS-complex van het ECG en het einde van de T-top. De QT-interval varieert met de hartslag; bij een lage hartslag wordt hij langer, bij een snelle korter. De QT-interval is de electrocardiografische weergave van de ontladingstijd en de repolarisatieduur - oftewel de hersteltijd - van myocardcellen nadat ze elektrisch zijn geprikkeld.

⁹⁵ Melnikov, V. N., Divert, V. E. e.a., *Baseline Values of Cardiovascular and Respiratory Parameters Predict Response to Acute Hypoxia in Young Healthy Men*, *Physiological Research*, 18 juli 2017; 66(3) 467-479. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28248531>, <https://doi.org/10.33549/physiolres.933328>.

⁹⁶ Crawford, J. H., Isbell, T. S. e.a., *Hypoxia, Red Blood Cells, and Nitrite Regulate NO-dependent Hypoxic Vasodilation*, *Blood*, 15 jan. 2006; 107(2) 566-574. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1895612>, <https://dx.doi.org/10.1182%2Fblood-2005-07-2668>.

⁹⁷ Erythropoëse is het Vasodilatator deel van de hematopoëse (bloedvorming) waarbij, vanuit een 'hematopoëtische' (bloedvormende) multipotente stamcel zich erythrocyten (rode bloedcellen) ontwikkelen.

⁹⁸ Henry, J., *Henry's Clinical Diagnosis and Management by Laboratory Methods*, 19e ed. W. B. Saunders Co., 1996, pag. 599.

⁹⁹ Een aandoening waarbij onvolgroeide rode bloedcellen in het beenmerg abnormaal groot zijn en/of in abnormaal grote hoeveelheden voorkomen.

¹⁰⁰ Dit is kort gezegd een kwalitatieve verstoring in de erythropoëse (zie ook noot 97).

¹⁰¹ Micro-angiopathische hemolytische anemie is een vorm van hemolytische anemie die gekenmerkt wordt door fragmentatie van erythrocyten als gevolg van verstoppingen in kleine bloedvaten.

¹⁰² Sideroblastische anemie is een vorm van bloedarmoede (anemie) die veroorzaakt wordt door afwijkende voorlopers/kiemcellen (blasten) van de rode (erythro) bloedcellen (erythroblasten).

¹⁰³ MedGen, *Erythroid hyperplasia*. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/medgen/4536#rdis_1634824.

¹⁰⁴ Harmening, D., *Clinical Hematology and Fundamentals of Hemostasis*, 4th ed., Davis Company, 2002, pag. 348-349.

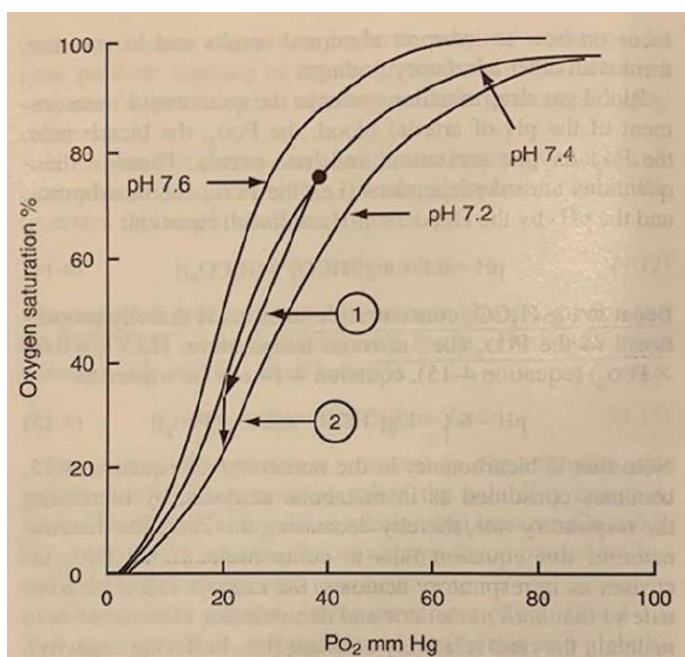
¹⁰⁵ In het Engels 'signaling pathways'. Dit zijn een of meer reeksen van chemische reacties met een groep moleculen in een cel die samenwerken om de celfunctie te beheersen (zoals celdeling of celdood). Een andere, eenvoudige omschrijving van een signaalroute is een reeks stappen waarbij verschillende moleculen in een cel of op het celoppervlak (receptoren) samenwerken om de celfuncties te reguleren.

<https://toolbox.eupati.eu/glossary/signaalroute/?lang=nl>.

ontsteking.¹⁰⁶ Hoewel het darmweefsel gemiddeld 7 procent O₂ bevat, komt hypoxische stress voor bij infecties en ontstekingen, situaties waarin de behoefte aan zuurstof groter is dan het aanbod.¹⁰⁷ Als gevolg van de daardoor veroorzaakte hypoxie, komt de gevoelige balans tussen enerzijds de commensale bacteriën (onschadelijk gastorganismen) en de beperkte toegang tot weefsels door pathogene bacteriën opnieuw in gevaar.

Hypoxie en het risico op kanker

Bij weerstand tegen de inspiratoire en expiratoire flow, werden respiratoire acidose en verhoogde lactaatconcentraties gevonden.¹⁰⁸ Bij de zuurstofconcentraties die wij maten binnen de mondkapjes, zagen we dat bij 17 procent zuurstof zich meer melkzuur vormde.¹⁰⁹ Dit is geen verrassing omdat we door het werk van Nobelprijswinnaar biochemicus Otto Warburg inzicht hebben in het metabolische begin van kanker. Hij ontdekte dat verwijdering van zuurstof de vernietiging van de ademhaling in de cellen initieert en dat dit proces tot het ontstaan van kanker leidt.¹¹⁰ Als de weefseloxygenatie afneemt, zoeken de cellen hun toevlucht tot anaerobe glycolyse, waarbij pyruvaat tot melkzuur wordt omgezet.¹¹¹ Het gevolg is een duidelijke toename van melkzuuracidose in de weefsels. Als de zuurstofverzadiging daalt tot 30 procent, daalt de pH van het bloed tot 7,2, waardoor de zuurstof-hemoglobine-dissociatiecurve naar rechts verschuift en een vicieuze cyclus/cirkel in gang zet, zoals duidelijk wordt uit onderstaande grafiek.



Figuur 4-4

De effecten van een afname in pO₂ in de allosterische¹¹² zone van de zuurstof-hemoglobine-dissociatiecurve. Op de pH 7,4 curve zien we dat als de pO₂ daalt van 80 naar 60, er weinig effect is op de zuurstofverzadiging. Maar een daling van 40 naar 20 mmHg resulteert in een sterke daling van de zuurstofverzadiging van ongeveer 80 naar 30 procent (pijl 1 in de grafiek). Bij die lage zuurstofverzadiging zien we een opvallend sterke melkzuuracidose (door anaerobe stofwisseling). De toename in acidose resulteert in op zijn beurt in een daling van de pH van het bloed naar 7,2, waardoor de zuurstof-hemoglobine-dissociatie naar rechts verschuift (pH 7,2 curve). En bij een pO₂ van 30, daalt de zuurstofverzadiging zelfs nog meer (pijl 2 in de grafiek) naar ongeveer 20 procent, waardoor een vicieuze cyclus ontstaat.

Uit: Henry, J., *Henry's Clinical Diagnosis and Management by Laboratory Methods*, 19^e ed. W. B. Saunders Co., 1996 (paginanummer ontbreekt in dr. Hubers artikel)

¹⁰⁶ Cummins, E. P., Crean, D., *Hypoxia and Inflammatory Bowel Disease*, *Microbes and Infection*, dl. 19, nr. 3, mrt. 2017, pag. 210-221.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1286457916301319>, <https://doi.org/10.1016/j.micinf.2016.09.004>.

¹⁰⁷ Zeitouni, N. E., Chotikatum, S. e.a., *The Impact of Hypoxia on Intestinal Epithelial Cell Functions: Consequences for Invasion by Bacterial Pathogens*, *Molecular and Cellular Pediatrics*, dl. 3, artikelnr: 14 (2016).

<https://molcellped.springeropen.com/articles/10.1186/s40348-016-0041-y>, <https://doi.org/10.1186/s40348-016-0041-y>.

¹⁰⁸ Zhu, W., *Should, and how can, Exercise be done During a Coronavirus Outbreak? An Interview with Dr. Jeffrey A. Woods*, *Journal of Sport and Health Science*, mrt. 2020; 9(2) 105-107. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32099717>, <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.01.005>.

¹⁰⁹ Hogan, M. C., Cox, R. H., Welch, H. G., *Lactate accumulation During Incremental Exercise with Varied Inspired Oxygen Fractions*, *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, okt. 1983; 55(4) 1134-40.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6629944>, <https://doi.org/10.1152/jappl.1983.55.4.1134>.

¹¹⁰ Warburg, O., *On the Origin of Cancer Cells*, *Science*, 24 febr. 1956, dl. 123, nr. 3191, pag. 309-314. <https://www.jstor.org/stable/1750066?seq=1>. <https://science.sciencemag.org/content/123/3191/309>, <https://doi.org/10.1126/science.123.3191.309>.

¹¹¹ In de meeste organen wordt pyruvaat helemaal afgebroken en omgezet in energie. Dat gebeurt in de mitochondriën en daar is zuurstof voor nodig. Maar sommige cellen hebben geen, of heel weinig mitochondriën, waardoor ze het pyruvaat maar gedeeltelijk kunnen afbreken, tot lactaat (melkzuur). Ook als er te weinig zuurstof beschikbaar is, wordt pyruvaat op deze manier afgebroken.

¹¹² Allosterisch houdt in: van, gerelateerd aan, het ondergaan van, of een verandering in de vorm en activiteit van een eiwit (zoals een enzym), die voortkomt uit een combinatie met een andere substantie op een plek anders dan de chemisch actieve site. Allosterie stamt van het Griekse ἄλλως *allos* (anders) en στερεός *stereós* (plaats), hetgeen dus 'op een andere plaats' betekent.

Warburg toonde aan dat kankercellen in hypoxische condities leven en dat een initiële aanval op de normale cellen tot hypoxie leidt, dat vervolgens de mitochondriën beschadigt, wat de eerste stap is in het kankerproces. Hij ontdekte dat de 'grondoorzaak van kanker zuurstofgebrek is (...). Kanker kan niet overleven in hoge zuurstofconcentraties'.¹¹³

Hypoxie heeft ook een negatief effect op de mobiliteit van natuurlijke killercellen, die een van de sterkste verdedigingslinies van het immuunsysteem tegen kanker zijn.¹¹⁴

Meer dan een kwart eeuw was Guy Crittenden redacteur van HazMat Management, een tijdschrift over gezondheid en veiligheid op het werk dat al veel prijzen won. Dat tijdschrift publiceerde regelmatig artikelen over mondkapjes en het respecteren van wetten rond gezondheid en veiligheid. Hij heeft verschillende grote bezwaren tegen mondkapjesgebruik door het algemene publiek.¹¹⁵ Een van die bezwaren die hem zorgen baart, is dat de chirurgische wegwerpmaskers gesteriliseerd worden met ethyleenoxide, een bekende carcinogeen.¹¹⁶ Een ander probleem dat hij noemt is dat de chirurgische wegwerpmaskers en de N95-mondkapjes gewoven zijn met polytetrafluorethyleen (PTFE).^{117, 118} Bij de productie van PTFE wordt gebruikgemaakt van perfluorooctaanzuur (PFOA), een bekende carcinogeen.¹¹⁹ PFOA wordt geassocieerd met borstkanker¹²⁰, teelbalkanker, leverkanker en alveeslierkanker.¹²¹ Zoals hierboven al werd opgemerkt, is de inspiratoire flow bij mondkapjesdragers groter, waardoor deze stoffen diep in de longen terechtkomen.

Hypoxie en onze immuunfunctie

In een toestand van hypoxie produceert het lichaam 'hypoxie-induceerbare factor-1' (HIF-1). Van HIF-1 is bekend dat het de T-celfunctie verzwakt.¹²² Er is aangetoond dat de CD4⁺ T-cellen in dit proces achteruitgaan, en we weten van deze cellen dat ze virale infecties bestrijden.¹²³ Dit geeft redenen tot bezorgdheid en roept de vraag op of het dragen van mondkapjes in het huidige COVID-19-tijdperk wel wenselijk is. De plotselinge toename in 2020 van wijdverbreid mondkapjesgebruik in grote delen van de wereld wordt gemotiveerd door het verlangen de verspreiding van het SARS-CoV-2-virus (dat COVID-19 veroorzaakt) te beperken of beheersen. Zoals we hebben aangetoond, verhinderen de gezondheidsproblemen ten gevolge van door mondkapjesgebruik veroorzaakte hypoxie wat men met de antivirale strategie bereiken wil. Zoals we in ons vorige artikel (deel 2) van deze serie hebben laten zien, is er een correlatie tussen mondkapjesgebruik en een hogere (niet een lagere) incidentie van COVID-19.¹²⁴

Andere gevolgen van mondkapjesgebruik

Mondkapjes blijken ook de huid te beschadigen. Dat werd aangetoond in een onderzoek waarbij 542 zorgmedewerkers bestudeerd werden. Van deze 542 ontwikkelden 526 (97 procent) van de zorgmedewerkers huidproblemen. De

¹¹³ Warburg, O., *On the Origin of Cancer Cells*, Science, 24 febr. 1956, dl. 123, nr. 3191, pag. 309-314. <https://www.jstor.org/stable/1750066?seq=1>.

¹¹⁴ Chambers, A. M., Matosevic, S., *Immunometabolic Dysfunction of Natural Killer Cells Mediated by the Hypoxia-CD73 Axis in Solid Tumors*, *Frontiers in Molecular Biosciences*, juni 2019; 6:60. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6668567/> <https://dx.doi.org/10.3389/fmolb.2019.00060>

¹¹⁵ Crittenden, G., *Is Your Mask Giving You Lung Cancer?*, 21 okt. 2020. <https://neverb4.net/is-your-mask-giving-you-lung-cancer>.

¹¹⁶ Chua, M., Cheng, W., Goh, S. S. e.a., *Face Masks in the New COVID-19 Normal: Materials, Testing, and Perspectives*, Research (Washington, D.C.), 7 aug. 2020; 7286735. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7429109/>, <https://dx.doi.org/10.34133/2020/7286735>.

¹¹⁷ Solvay, *Materials for Covid-19 PPE and Medical Equipment: N95 Masks*.

<https://www.solvay.com/en/chemical-categories/specialty-polymers/healthcare/medical-equipment-emergency-production/n95-masks>.

¹¹⁸ Chua, M., Cheng, W., Goh, S. S. e.a., *Face Masks in the New COVID-19 Normal: Materials, Testing, and Perspectives*, Research (Washington, D.C.), 7 aug. 2020; 7286735. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7429109/>, <https://dx.doi.org/10.34133/2020/7286735>.

¹¹⁹ Zie de Engelstalige Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Perfluorooctanoic_acid (uitgebreider dan de Nederlandse Wikipedia).

¹²⁰ Pierozan, P., Jemerén, F., Karlsson, O., *Perfluorooctanoic Acid (PFOA) Exposure Promotes Proliferation, Migration and Invasion Potential in Human Breast Epithelial Cells*, *Archives of Toxicology*, 2018; 92(5) 1729-1739.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5962621/>, <https://dx.doi.org/10.1007/s00204-018-2181-4>.

¹²¹ Steenland, K., Fletcher, T., Savitz, D. A., *Epidemiologic Evidence on the Health Effects of Perfluorooctanoic Acid (PFOA)*, *Environmental Health Perspectives*, aug. 2010; 118(8) 1100-1108, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2920088/>, <https://dx.doi.org/10.1289/ehp.0901827>.

¹²² Lukashev, D., Klebanov, B. e.a., *Cutting Edge: Hypoxia-Inducible Factor 1 α and Its Activation-Inducible Short Isoform I.1 Negatively Regulate Functions of CD4⁺ and CD8⁺ T Lymphocytes*, *The Journal of Immunology*, 15 okt. 2006; 177 (8) 4962-4965.

<https://www.jimmunol.org/content/177/8/4962>, <https://doi.org/10.4049/jimmunol.177.8.4962>.

¹²³ Sant, A. J., McMichael, A., *Revealing the Role of CD4⁺ T Cells in Viral Immunity*, *The Journal of Experimental Medicine*, juli 2012; 209(8) 1391-1395. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3420330/>, <https://dx.doi.org/10.1084/jem.20121517>.

¹²⁴ Borovoy, B., Huber, C., Crisler, M., *Microbial Challenges from Masks*, *Primary Doctor Medical Journal*, 9 okt. 2020.

(Oorspronkelijk artikel) https://pdmj.org/papers/masks_false_safety_and_real_dangers_part2.

Nederlandse vertaling) <https://ademvrij.nu/microbiologische-uitdagingen-bij-mondkapjesgebruik>.

aangetaste plekken waren vooral de neusbrug, maar ook de handen, wangen en het voorhoofd. Hoe langer zij een mondkapje droegen, des te erger de schade.¹²⁵

*De US FDA definitie van een 'medisch instrument'*¹²⁶

Volgens de Amerikaanse Food and Drug Administration (de Amerikaanse 'voedsel- en medicijnenautoriteit') moet een medisch instrument of middel aan een bepaalde definitie voldoen. En die luidt als volgt:

'Een instrument, hulpmiddel, gereedschap, machine, toestel, implantaat, in vitro reagens, of een ander gelijksoortig of gereleerd voorwerp, inclusief een bestanddeel of accessoire dat: erkend en geregistreerd is in het officiële Nationale Formulierum¹²⁷, in de United States Pharmacopeia¹²⁸ of in de supplementen ervan:

- Bedoeld voor gebruik in de diagnose van ziekten of andere condities, of bij de genezing, verzachting, behandeling of preventie van ziekte in mensen of dieren, of

- bedoeld om de structuur of welke functie van het lichaam van mensen of dieren ook te beïnvloeden, en zijn primaire doel niet bereikt door chemische werkingen/acties/reacties in of op het lichaam van mens of dier, en niet afhankelijk is van de stofwisseling om zijn primaire doel te bereiken.'^{129, 130}

Volgens de FDA valt het voorschrijven van het gebruik van een medisch hulpmiddel onder de staatswetten en -voorschriften (de wetten en voorschriften van elke afzonderlijke Amerikaanse staat) die bepalen wie een medisch hulpmiddel/recept kan voorschrijven.¹³¹ De FDA laat het oordeel over wie een geldig recept uit mag schrijven aan de staten over. Op dit moment hebben - tenminste in de Verenigde Staten - alleen zij die een vergunning hebben om geneeskunde te praktiseren het recht om recepten te schrijven.

Maar op dit moment zijn er ook in de Verenigde Staten prominente politici en gekozen en aangestelde overheidsfunctionarissen die 'eisen' dat burgers in hun rechtsgebied in de publieke ruimte een mondkapje dragen.

Wij zeggen dat een mondkapje een hulpmiddel of 'apparaat' is dat zogenaamd bedoeld is en voorgeschreven wordt om ziekte te voorkomen en dat het daarom binnen de FDA-beschrijving van een medisch hulpmiddel valt, ook al wordt het zonder recept gewoon in de winkel verkocht. Is er dus vandaag de dag in de Verenigde Staten en in de rest van de wereld een situatie ontstaan waarin politieke leiders medische hulpmiddelen mogen voorschrijven, ook aan volkomen vreemden, zonder zelfs ook maar een medisch consult? Praktiseren deze politieke leiders geneeskunde zonder vergunning? Zo ja, kunnen zij dan ook verantwoordelijk gehouden worden voor de eventuele schade die daardoor veroorzaakt wordt en kunnen zij vervolgd worden voor hun daden?

En als deze politieke leiders een medisch hulpmiddel voorschrijven, zonder 'informed consent' (geïnformeerde toestemming), is het dan ook niet zo dat zij federale wetten overtreden inzake geïnformeerde toestemming? De US Code van Federale Regelgeving (CFR), Title 21, Subhoofdstuk A, Deel 50, Subdeel B bespreekt de voorwaarden voor geïnformeerde toestemming. Deze zelfde bestuurders overtreden ook de Universele Verklaring van de Rechten van de Mens en de Code van Neurenberg - internationaal erkende documenten over de bescherming van burgers tegen medische dwang en medische experimenten.

¹²⁵ Lan, J., Song, Z. e.a., *Skin Damage Among Health Care Workers Managing Coronavirus Disease-2019*, Journal of the American Academy of Dermatology, dl. 82, nr. 5; 1215-1216. [https://www.jaad.org/article/S0190-9622\(20\)30392-3/pdf](https://www.jaad.org/article/S0190-9622(20)30392-3/pdf).

¹²⁶ In Nederland is de wetgeving rond mondkapjes aangepast en gepubliceerd op 15 oktober 2020 en worden mondkapjes nu ook gezien als PMB (persoonlijk beschermingsmiddel).

<https://www.igj.nl/binaries/igj/documenten/richtlijnen/2020/06/17/wettelijk-kader-mondmaskers/20201013+Wettelijk+kader+mondmaskers.pdf>

¹²⁷ Naslagwerk dat medicamenteuze adviezen en/of medicijnen uiteenzet.

¹²⁸ Een publicatie die jaarlijks uitgegeven wordt door de United States Pharmacopeial Convention die de samenstelling, beschrijving, bereidingswijze en dosering van medicijnen bevat.

¹²⁹ US Food and Drug Administration, *Is My Product a Medical Device?*, Sectie 201(h). <https://www.fda.gov/media/131268/download>.

¹³⁰ US Food and Drug Administration, *Medical Device Overview*.

<https://www.fda.gov/industry/regulated-products/medical-device-overview#What%20is%20a%20medical%20device>.

¹³¹ US Food and Drug Administration, *Q: Who can write a prescription for a medical device?*

<https://www.fda.gov/medical-devices/home-use-devices/frequently-asked-questions-about-home-use-devices#5>.

Wij dringen er dan oom op aan dat mensen overal ter wereld gaan nadenken over deze definitie van een medisch hulpmiddel en om bij zichzelf te overleggen of zij zich door hun politieke leiders en/of de nationale nieuwsmedia geneeskundig willen laten behandelen zonder dat zij enige medische training hebben gehad, zonder dat zij een vergunning hebben om geneeskunde te praktiseren, of zelfs zonder ook maar een persoonlijk klinisch consult.

Conclusie

Ons eerste artikel in deze serie ging over schijnveiligheid en echte gevaren van mondkapjes. Daarin onderzochten wij de losse deeltjes en losse vezels die wij ontdekten op nieuwe verschillende soorten mondkapjes bij een vergroting van 40x en meer en bespraken wij de mogelijke gevolgen van het inademen van zulke verontreinigingen.

In de tweede studie in deze serie keken we naar bacteriologische uitdagingen bij mondkapjesgebruik, de ontregeling en onbalans in de microbiota¹³² in het ademhalingskanaal en de gevolgen van die onbalans in het hele lichaam. We toonden aan dat het zeer aannemelijk is dat mondkapjes respiratoire druppels en micro-organismen vasthouden, met als gevolg de incubatie en vermenigvuldiging van die micro-organismen binnen het mondkapje en de luchtwegen, waardoor het risico op infectie door belangrijke respiratoire pathogenen (bacteriën, schimmels en virussen) toeneemt en niet afneemt.

Deze huidige studie, de derde in deze serie, richt zich op de fysiologische veranderingen veroorzaakt door hypoxie en hypercapnie. De conclusie is dat de resultaten m.b.t. een verminderde zuurstofopname en een verhoogde CO₂-opname (door recirculatie) consistent zijn met eerdere gerapporteerde data.^{133, 134} Bewijs van schade aan meervoudige orgaan-systemen door de gedocumenteerde concentraties van O₂ en CO₂ in de 'beschikbare lucht voor het ademhalingssysteem' (dat is de lucht tussen het mondkapje en de luchtwegen) worden hierboven (d.i. in het artikel) geciteerd en worden veelvuldig benoemd in de beschikbare literatuur. De 'pathologische triade' van (1) microdeeltjes m.b.t. mogelijke schade op de lange termijn, (2) bacteriële- en schimmelinfecties op de middellange termijn en (3) schade door hypoxie en hypercapnie op de korte termijn, brengt naar verwachting (als synergetisch - d.i. samenwerkend - resultaat) de gezondheid van mondkapjesdragers in gevaar. Vanwege het uitgebreide risico voor mondkapjesdragers dat in deze drie papers gedocumenteerd wordt, adviseren wij met klem dat geen enkele volwassene en geen enkel kind gedwongen zou moeten worden om onder welke omstandigheid dan ook een mondkapje te dragen. Verder adviseren wij dat de gevaren van mondkapjes ruimschoots bij het grote publiek bekendgemaakt worden en dat ze alleen gedragen worden door volwassenen die er zelf voor kiezen, en dat die keuze altijd gebaseerd moet zijn op geïnformeerde toestemming. Zij moeten dus volledig op de hoogte zijn van de risico's. Het dragen van mondkapjes moet ook verboden worden voor kinderen, volwassen studenten en werknemers.

Wanneer echter het wijdverbreide gebruik van mondkapjes en de plicht tot het dragen ervan blijft voortbestaan, dan rijst de vraag, gezien de gegevens die wij hebben aangedragen, of het aantal zieken en doden door mondkapjesgebruik het aantal zieken en doden door COVID-19 of andere aandoeningen zal overstijgen. Wat zullen de langetermijngevolgen zijn van het dragen van mondkapjes als het gebruik ervan blijft aanhouden? En zullen we in staat zijn om de aangerichte schade door mondkapjes te onderscheiden van de gevolgen van COVID-19 en andere pathologieën? Het bewijs in deze studie, bestaande uit een opsomming van klinische data uit de hele wereld, laat zien dat mondkapjes ziekte en sterfte onder hen die al ziek zijn kan bevorderen en dat mondkapjes gezonde mensen ziek kunnen maken. Waarom worden er eerst geen dierproeven gedaan, waarbij dieren de hele dag een mondkapje te dragen krijgen, voordat schoolkinderen en werknemers verplicht worden om ze te dragen? Op die manier kan op een verantwoordelijke manier de veiligheid van mondkapjes onderzocht worden. Hoeveel door mondkapjes veroorzaakte ziekten moeten wij zien voordat de mondkapjesplicht eindigt?

Vertaald en middels voetnoten van aanvullende en verklarende informatie voorzien door E. W. J. Maatkamp

¹³² Alle micro-organismen die in een bepaald orgaan leven, worden gezamenlijk de 'microbiota' genoemd.

¹³³ Sinkule, E. J., Powell, J. B., Gloss, F. L., *Evaluation of N95 Respirator Use with a Surgical Mask Cover: Effects on Breathing Resistance and Inhaled Carbon Dioxide* (tabel 4), *The Annals of Occupational Hygiene*, 29 okt. 2012, dl. 57, nr. 3, april 2013, pag. 384-398. <https://academic.oup.com/annweh/article/57/3/384/230992>, <https://doi.org/10.1093/annhyg/mes068>.

¹³⁴ Zhaoshi, Z., *Potential Risks When Some Special People Wear Masks*, commentaar 18 april 2020 onder het volgende artikel: *Masks and Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)*, door Desai, A. N. (MD, MPH) en Aronoff, D. M. (MD): <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2764955>.