

Drikkevand og caries i et nyt perspektiv

Maja Bruvo, Kim Ekstrand, Erik Arvin, Henrik Spliid, Dennis Moe, Svend Kirkeby og Allan Bardow

I fremtiden vil en større del af verdens drikkevand komme fra afsaltet havvand og brakvand. Inden det afsaltede vand kan bruges som drikkevand, skal det først tilføres ioner for at forbedre dets smag og nedsætte dets korrosive potentiale. Med hensyn til caries vides kun meget lidt om effekten af andre ioner end fluorid i drikkevand. Derfor har vi her undersøgt effekten af 22 almindelige fysisk-kemiske karakteristika ved drikkevand, herunder ioner, gasser, organiske forbindelser og fysiske mål, på DMFS blandt 15-årige skolebørn i Danmark. Ved iterativ søgning og testning fandt vi, at kalcium sammen med fluorid kunne forklare 45 % af variationen i DMFS blandt 52.057 15-årige skolebørn i 249 danske kommuner. Begge ioner i drikkevand reducerer DMFS uafhængigt af hinanden og kan derfor anvendes i kombination til udvikling af drikkevand med optimal carieshæmmende effekt.

Denne artikel er oprindeligt udgivet på engelsk i *Journal of Dental Research* 2008; 87: 340-3.

Mangel på drikkevand i mange verdensdele vil øge brugen af havvand og brakvand som drikkevandsressource især i tæt befolkede kystområder (1). Således er anvendelse af afsaltet havvand som drikkevand allerede udbredt i middelhavsområdet samt Singapore og Perth, i områder af Moskva bruges ultrafiltreret brakvand som drikkevand, og i fremtiden kan brugen af afsaltet vand også blive almindelig i storbyer som fx Sydney, Miami, Rio de Janeiro og Los Angeles. Efter behandling er dette vand udtømt for ioner. For at opnå en tilfredsstillende smag og mindske vandets korrosive potentiale, mens det distribueres til forbrugerne, tilsættes visse ioner normalt efter afsaltning. Vi antager, at ved tilsætning af en blanding af udvalgte ioner kan afsaltet drikkevand med fordel anvendes til carieskontrol på befolkningsniveau. Der er dog kun sparsomt med litteratur, bortset fra den veldokumenterede virkning af fluorid (2), med hensyn til virkningen af drikkevandssammensætning på dental caries. Tidligere undersøgelser om emnet har ofte kun inkluderet relativt få individer og fokuseret på sjældne sporelementer som litium (3), kobber og bly (4), strontium, bor og molybdæn (5-7) samt vandhårdhed og kalcium (8,9). Der findes ingen analyser af forholdet mellem alle almindelige fysisk-kemiske karakteristika ved drikkevand og dental caries på befolkningsniveau.

Danmark er ideelt til at teste sådanne effekter, idet geografiske variationer i cariesforekomster blandt børn registreres i detaljer (10), og drikkevandskvaliteten overvåges for hvert enkelt vandværk. På nuværende tidspunkt er tæt på 100 % af den danske drikkevandsforsyning baseret på grundvand. Analyser af sådanne data har vist, at fluorid i drikkevand i sig selv forklarer 35 % af kommunale variationer i DMFS blandt danske skolebørn (11). Vi agter her at gå videre end tidligere undersøgelser ved at teste virkningen af alle almindelige fysisk-kemiske karakteristika i drikkevand på DMFS blandt skolebørn.

Materialer og metoder

Dataindsamling

Fra De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) blev fysisk-kemiske data om gennemsnitlige koncentrationer fra 1995 til 2004 for hvert vandværk i de tidligere 275 danske kommuner indhentet. I alt blev der indhentet data fra 3.364 vandværker, og der blev beregnet et vægtet gennemsnit på grundlag af drikkevandsforsyningen fra hvert vandværk i en given kommune og det samlede drikkevandsforbrug for den samme kommune. Afhængigt af mængden af produceret vand blev vandkvaliteten overvåget hvert andet år i halvdelen

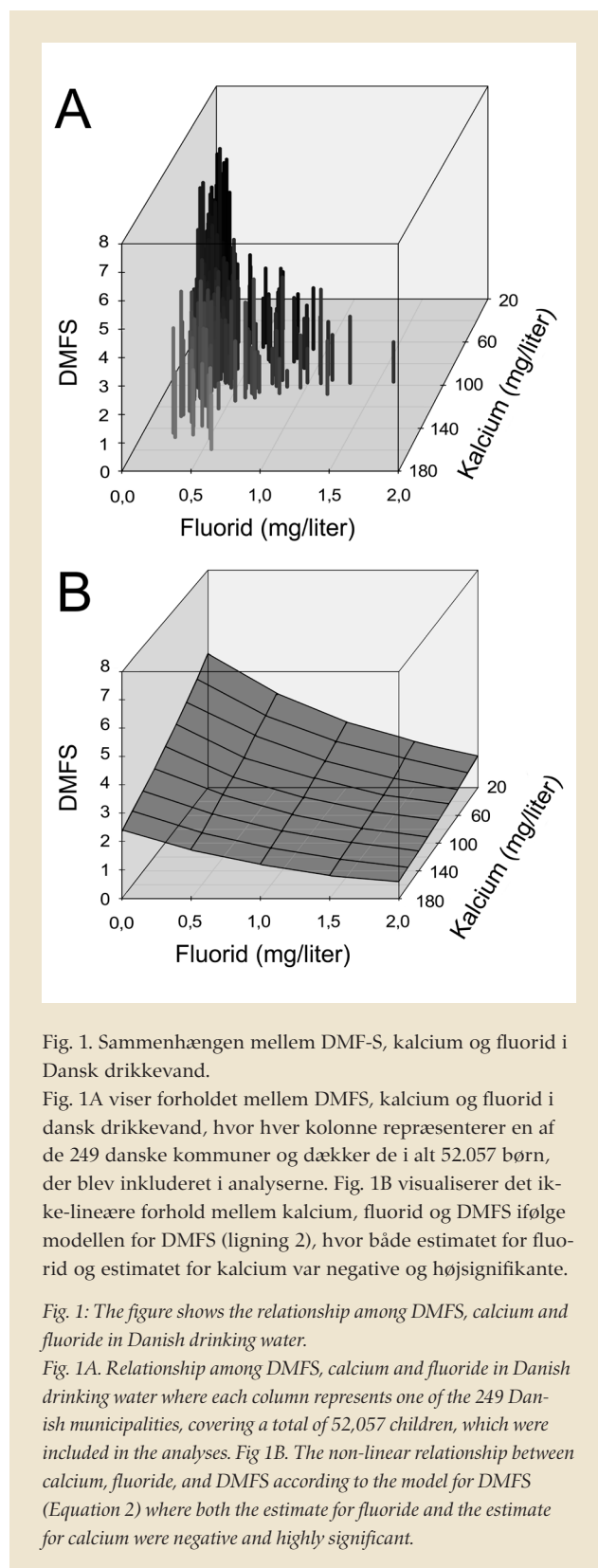
af vandværkerne og årligt eller mere i den anden halvdel af vandværkerne. Som vist i Tabel 1 var hydrogenkarbonat den ion, der efter vægt fandtes i størst koncentration, efterfulgt af sulfat, kalcium, natrium og klorid. DMFS data for danske skolebørn på 15 år i 2004 blev hentet fra Sundhedsstyrelsen. Vi valgte data for 15-årige, fordi

denne registrering er den sidste obligatoriske registrering og har de fleste børn registreret. Det antages, at de generelle forhold for disse børn har været relativt ens, mens der stadig har været tilstrækkelig eksponeringstid, så variationer i DMFS har kunnet udvikle sig. Data omfatter 249 tidligere kommuner, hvor DMFS-værdier på mere

Tabel 1. Drikkevandssammensætningen i Danmark gennem de sidste 10 år.

	Gennemsnit	Variation	Procent
Fysisk-kemiske karakteristika			
Inddampningsrest (mg/L)	396	146-915	-
Ionstyrke (mol/L)	0,009	0,004-0,019	-
pH	7,69	7,35-8,15	-
Vandhårdhed (dH)	14,4	5,4-29,4	-
Gasser (mg/L)			
Aggressiv kuldioxid	3,5	0,0-25,6	0,7
Oxygen	8,8	2,5-12,6	1,7
Kationer (mg/L)			
Ammoniak og ammonium	0,07	0,01-0,47	<0,1
Jern	0,08	0,02-1,12	<0,1
Kalcium	83,5	31,4-162,3	16,5
Kalium	3,35	0,97-12,4	0,7
Magnesium	11,9	2,8-46,0	2,4
Mangan	0,03	0,00-0,51	<0,1
Natrium	32,1	8,8-135,8	6,4
Anioner (mg/L)			
Fluorid	0,33	0,06-1,61	0,1
Hydrogenkarbonat	263	73-464	52,0
Hydrogensulfid	0,04	0,00-0,13	<0,1
Klorid	47,8	14,2-240,8	9,5
Nitrat	5,7	0,4-35,6	1,1
Nitrit	0,03	0,00-0,14	<0,1
Sulfat	43,3	2,5-160,7	8,6
Uorganisk fosfor	0,03	0,00-0,17	<0,1
Organiske forbindelser (mg/L)			
Metan	0,11	0,01-1,00	<0,1
Organisk kulstof	1,7	0,4-6,8	0,3

Vægtede gennemsnitlige værdier for 22 standard fysisk-kemiske karakteristika samt ionstyrke af dansk drikkevand fra 1995-2004 i 249 kommuner angivet som koncentration (gennemsnit og variation) samt procent af samlet mængde. Aggressiv kuldioxid er et begreb, der anvendes i forbindelse med vandforsyning og er et udtryk for mængden af kuldioxid, der vil reagere med kalciumkarbonat for at opnå kalkmætning.



end 60 % (gennemsnit 85 %) af børnene blev rapporteret, i alt 52.057 børn, og geografisk det meste af Danmark. DMFS-data blev indhentet anonymt og med tilladelse fra Sundhedsstyrelsen.

Statistik

Statistiske analyser blev udført ved hjælp af Excel og statistikprogrammet R (12). Identifikationen og vurderingen af de mest betydende drikkevandskarakteristika for DMFS blev udført ved hjælp af en iterativ søge- og testalgoritme baseret på generel lineær modellering. Lad os forestille os en kommune, hvor n børn er blevet observeret med et samlet antal af DMFS Y , og med gennemsnitligt DMFS = Y/n . Vi antager, at Y kan beskrives ved en Poisson-fordeling med et gennemsnit svarende til $n \cdot E \cdot \lambda$. Termen E er en tilfældig faktor med gennemsnittet 1, der repræsenterer uobserverede kilder til variation, som kan omfatte socio-økonomiske faktorer i den relevante kommune. Virkningen af drikkevand på DMFS beskrives ved λ , der afhænger af kemiske karakteristika i kommunens vand. Med fx to kemiske karakteristika er den naturlige model:

$$\log(\lambda) = \mu + \alpha \cdot A + \beta \cdot B \text{ (ligning 1)}$$

hvor A og B er to kemiske karakteristika i drikkevandet i den relevante kommune, mens μ , α og β er de generelle parametre af interesse, der beskriver virkningen af A og B på DMFS. Formlen og den statistiske analyse af denne model er beskrevet tidligere (13).

Resultater

Alle fysisk-kemiske vandkarakteristika blev undersøgt ved iterativ søgning og testning i forhold til DMFS, hvilket resulterede i isoleringen af fluorid og kalcium (Fig. 1A). Med identificering af fluorid og kalcium som værende af stor betydning blev følgende model beregnet:

$$\text{DMFS} = \exp [1,05 - 0,18 \cdot (\text{fluorid} - 0,33)/0,25 - 0,11 \cdot (\text{kalcium} - 83,50)/25,63] \text{ (ligning 2)}$$

hvor 1,05 er værdien for μ (skæringspunktet i regressionsanalysen), 0,18 er estimatet for α , og 0,11 er estimatet for β med fluorid og kalcium i standardiserede former. Standardafvigelser for estimaterne for μ , α og β var 0,02, 0,03 og 0,02 ($P < 0,001$). Når de gennemsnitlige nationale kalcium- og fluoridkoncentrationer (Tabel 1) indsættes i denne model, forbliver kun værdien 1,05 tilbage (dvs. μ), hvilket giver et gennemsnitligt DMF-S blandt 15-årige skolebørn på 2,86, svarende til det gennemsnitlige DMFS for de

52.057 børn i analysen. Den kombinerede forklarende virkning af denne model, der viser, at både fluorid og kalcium reducerer DMFS, var 45 %, og der blev ikke fundet væsentlige interaktioner eller højere ordens termer. Fig. 1B og Tabel 2 viser, hvordan forskellige koncentrationer af kalcium og fluorid i drikkevandet vil påvirke DMFS. På grund af det ikke-lineære forhold med kalcium og fluorid bliver DMFS-estimatet aldrig nul. Derfor bliver effekten af begge ioner mindre i højere koncentrationer, hvor den har tendens til at flade ud (Fig. 1B).

Diskussion

Fluorid gør tandoverfladen mere modstandsdygtig over for syre, sandsynligvis på grund af overfladefluoridering af apatitkrystaller (14), og denne modstandsdygtighed øges med koncentrationen af fluorid (15). Eftersom fluoridkoncentrationen normalt er meget højere i dansk drikkevand end koncentrationen af opløst fluorid i det orale væskemiljø, beskytter fluorid i drikkevandet mod caries. Vi mener, at kalcium i drikkevand er gunstigt for remineralisering samt reducerer demineralisering i tidlige carieslæsioner. En anden virkning af kalcium på DMFS kunne relateres til det positive forhold mellem denne ion og fluoridniveauer i plak (16). På denne måde kan kalcium diffundere ind i plak og øge bindingen af fluorid (17). I begge tilfælde skal koncentrationen af frit kalcium i drikkevandet være højere end i spyt. Med en gennemsnitlig totalkalciumkoncentration på 83,5 mg/liter (Tabel 1) i drikkevandet blev koncentrationen af frit kalcium beregnet til at være 2,0 mmol/liter (93 % af totalkalcium) ved 25 °C (18). Til sammenligning indeholder menneskeligt spyt kun omkring 1,0 mmol/liter totalkalcium (19). Derudover indeholder menneskeligt spyt også høje koncentrationer af bikarbonat (20) samt proteiner og fosfat, der alt sammen medfører betydelig binding af kalcium (21,22). Følgelig er den frie kalciumkoncentration i menneskeligt spyt ofte omkring halvdelen af den samlede kalciumkoncentration (19,21). Derfor er den gennemsnitlige koncentration af frit kalcium i dansk drikkevand fire gange højere, og i visse områder mere end syv gange højere, end den er i menneskespyt. Remineralisering og effekter i forhold til fluoridoptagelse i plak bør derfor kunne opstå ved hyppig eksponering til denne type drikkevand. I denne sammenhæng viste Mills (8), at blandt 75 byer i USA havde byer med den højeste drikkevandshårdhed det laveste DMFS. Vi forestiller os, at disse resultater var indirekte effekter af kalcium, som er den afgørende faktor for vandhårdhed. Dermed afspejler disse tidligere resultater den opnåede effekt i nærvæ-

Tabel 2. Fluorid og kalcium i drikkevandet i forhold til DMFS hos 15-årige i Danmark.

	0,25	0,75	1,25	1,75	
10	4,1	2,9	2,0	1,4	----- Kalcium (mg/liter) -----
30	3,8	2,6	1,8	1,3	
50	3,5	2,4	1,7	1,2	
70	3,2	2,2	1,5	1,1	
90	2,9	2,0	1,4	1,0	
110	2,7	1,9	1,3	0,9	
130	2,5	1,7	1,2	0,8	
150	2,3	1,6	1,1	0,8	
170	2,1	1,5	1,0	0,7	
	----- Fluorid (mg/liter) -----				

Matrix bestående af DMFS-værdier beregnet ved forskellige kalcium- og fluoridkoncentrationer i henhold til modellen vist i ligning 2. Det hvide felt viser vores forslag til optimalt drikkevand med middel koncentration af begge ioner. I henhold til modellen var DMFS for afsaltet vand, som er udtømt for kalcium og fluorid, 5,1.

rende undersøgelse. Dette understøttes yderligere af, at Glass et al. (9) i to isolerede landsbyer i Colombia i Sydamerika også identificerede kalcium i drikkevand som beskyttende imod caries.

Ud over modellen med kalcium og fluorid illustreret i Fig. 1B kunne en udvidet model indeholdende kalcium og fluorid samt pH, bikarbonat og klorid også udvikles og dermed øge den forklarende virkning af drikkevandssammensætning på DMFS til 51 % ($P < 0,001$). I denne udvidede model var estimerne for virkningen af kalcium, fluorid, pH og bikarbonat på DMFS negative (reducerede DMFS), hvorimod estimatet for klorid var positivt (øgede DMFS). Selvom disse virkninger kan forklares teoretisk og tydeligt illustrerer kompleksiteten af drikkevand på DMFS, mener vi, at enkeltheden i den mindre kalcium- og fluoridmodel gør den til kernemodellen for at beskrive virkningen af drikkevand på DMFS.

Dette er således første gang, at en matematisk model med to ioner er blevet udviklet til at beskrive virkningen af drikkevand på DMFS. Denne kalcium- og fluoridmodel kan anvendes til at sammensætte drikkevand, der er optimalt til carieskontrol, især fra afsaltet havvand og brakvand. Selvom nærværende model mest er relateret til en gennemsnitlig carieserfaring blandt teenagere i Skandinavien, formoder vi, at tilsvarende relationer kan opnås i

lande med anden carieserfaring, hvis de har en stabil drikkevandsforsyning.

Vi anbefaler ikke erstatning af fluorid med kalcium, hvilket ifølge modellen teoretisk kan gøres med 170 milligram af kalcium for hvert milligram af fluorid, men foreslår at bruge en kombination af begge ioner, hvor det er muligt. Således er høje koncentrationer af kalcium i drikkevand uønsket, fordi det medfører et relativt højt forbrug af vaskepulver i husstande og kalciumkarbonatfældning på overflader i vandrør og badeværelser.

I stedet kan en justering af drikkevandets koncentration til 0,75 milligram fluorid pr. liter og 90 milligram kalcium pr. liter resultere i en betydelig reduktion af DMFS, mens der tages højde for forsyningen af drikkevand med moderate koncentrationer af begge ioner. Fra et økonomisk synspunkt vil udgiften til en sådan remineralisering af afsaltet vand udgøre mindre end 10 % af prisen ved selve fremstillingen.

Tak

Vi takker for støtte givet til projektet fra Tandlægeforeningen.

English summary

Optimal drinking water composition for caries control in populations

Apart from the well-documented effect of fluoride in drinking water on dental caries little is known about other chemical effects of drinking water on caries. As other ions in drinking water also, theoretically, may influence caries, as well as binding of fluoride in the oral environment, we hypothesised that the effect of drinking water on caries may not be limited to fluoride. Among twenty-two standard chemical variables, including fifteen ions and trace elements as well as gases, organic compounds and physical measures, iterative search and testing identified that calcium and fluoride together explained 45 % of the variation in the number of decayed, filled, and missed tooth surfaces (DMFS) among 52,057 15-year-old school children in 249 Danish municipalities. Both ions had reducing effects on DMFS independently of each other and could therefore be used in combination for designing optimal drinking water.

This article is based on the work previously published in *Journal of Dental Research* 2008; 87: 340-3.

Litteratur

1. Dawoud MA. The role of desalination in augmentation of water supply in GCC countries. *Desalination* 2005; 186: 187-98.
2. McDonagh MS, Whiting PF, Wilson PM, Sutton AJ, Chestnutt I, Cooper J et al. Systematic review of water fluoridation. *BMJ* 2000; 321: 855-9.
3. Schamschula RG, Cooper MH, Agus HM, Un PS. Oral health of Australian children using surface and artesian water supplies. *Community Dent Oral Epidemiol* 1981; 9: 27-31.
4. Ludwig TG, Adkins BL, Losee FL. Relationship of concentrations of eleven elements in public water supplies to caries prevalence in American schoolchildren. *Aust Dent J* 1970; 15: 126-32.
5. Losee FL, Adkins BL. Anti-cariogenic effect of minerals in food and water. *Nature* 1968; 219: 630-1.
6. Losee FL, Adkins BL. A study of the mineral environment of caries-resistant Navy recruits. *Caries Res* 1969; 3: 23-31.
7. Curzon ME, Adkins BL, Bibby BG, Losee FL. Combined effect of trace elements and fluorine on caries. *J Dent Res* 1970; 49: 526-8.
8. Mills CA. Factors affecting the incidence of dental caries in population groups. *J Dent Res* 1937; 16: 417-30.
9. Glass RL, Rothman KJ, Espinal F, Vélez H, Smith NJ. The prevalence of human dental caries and water-borne trace metals. *Arch Oral Biol* 1973; 18: 1099-104.
10. Helm S. National statistics on caries and oral hygiene derived from the Danish Child Dental Health recording system. *Community Dent Oral Epidemiol* 1973; 1: 121-6.
11. Ekstrand KR, Christiansen ME, Qvist V. Influence of different variables on the inter-municipality variation in caries experience in Danish adolescents. *Caries Res* 2003; 37: 130-41.
12. R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna: Austria; 2006. <http://www.r-project.org>
13. Venables WN, Ripley BD. *Modern Applied Statistics with S*, 4th edition. New York: Springer Verlag; 2002. p. 183-206.
14. Shellis RP, Duckworth RM. Studies on the cariostatic mechanisms of fluoride. *Int Dent J* 1994; 44: 263-73.
15. ten Cate JM, Duijsters PP. Influence of fluoride in solution on tooth demineralization. I. Chemical data. *Caries Res* 1983; 17: 193-9.
16. Whitford GM, Wasdin JL, Schafer TE, Adair SM. Plaque fluoride concentrations are dependent on plaque calcium concentrations. *Caries Res* 2002; 36: 256-65.
17. Vogel GL, Shim D, Schumacher GE, Carey CM, Chow LC, Takagi S. Salivary fluoride from fluoride dentifrices or rinses after use of a calcium pre-rinse or calcium dentifrice. *Caries Res* 2006; 40: 449-54.
18. Parkhurst DL, Appelo CAJ. User's guide to PHREEQC (version 2) - a computer program for speciation, batch reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. Water-Resources Investigations Report 99-4259. U.S. Geological Survey; 1999. http://wwwbr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc
19. Matsuo S, Lagerlöf F. Relationship between total and ionized calcium concentrations in human whole saliva and dental plaque fluid. *Arch Oral Biol* 1991; 36: 521-5.
20. Bardow A, Madsen J, Nauntofte B. The bicarbonate concentration in human saliva does not exceed the plasma level under normal physiological conditions. *Clin Oral Investig* 2000; 4: 245-53.

21. Gron P. The state of calcium and inorganic orthophosphate in human saliva. Arch Oral Biol 1973; 18: 1365-78.
22. Hay DI, Schluckebier SK, Moreno EC. Equilibrium dialysis and ultrafiltration studies of calcium and phosphate binding by human salivary proteins. Implications for salivary supersaturation with respect to calcium phosphate salts. Calcif Tissue Int 1982; 34: 531-8.

Forfatteroplysninger:

Maja Bruvo, ph.d.-studerende, cand.scient. Afdeling for Oral Mikrobiologi, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

Kim Ekstrand, lektor, ph.d. Afdeling for Tandsygdomslære, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

Erik Arvin, professor. Institut for Vand og Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet

Henrik Spliid, professor, ph.d. Institut for Informatik og Matematisk Modellering, Danmarks Tekniske Universitet

Dennis Moe, lektor, dr.odont. Afdeling for Oral Mikrobiologi, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

Svend Kirkeby, lektor, dr.med. Afdeling for Oral Medicin, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

Allan Bardow, lektor, ph.d. Afdeling for Oral Medicin, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet