

HUMAN HEALTH EFFECTS DUE TO CONSUMPTION OF LOW TDS WATER

By Lee T. Rozelle, Ph.D

물이 인체 건강에 미치는 영향

로젤 박사

1996. 9. 20.

Pure Waters Inc.

HUMAN HEALTH EFFECTS DUE TO CONSUMPTION OF LOW TDS WATER

Probably over most of recorded time, the quality of drinking water has been praised for good health and blamed for bad health. Certainly it is true, considering pathogenic organism that cause typhoid fever, giardiasis, etc., or considering chemical contaminants suspected of causing cancer.

Drinking "natural" waters with a high mineral content is generally accepted to be healthy. Water containing very low levels of total dissolved solids (TDS), such as distilled water, is believed by some to help "cure" arthritis by "washing out" calcium from deposits in joints. Along with this reasoning, many believe that drinking very low TDS water, treated by distillation, reverse osmosis (RO) or deionization (DI), "leaches" minerals from the body and causes mineral deficiencies with subsequent ill health effects.

The major driving force in the consumer marketplace for drinking water treatment equipment, including point-of-use, water vending machines and bottled water, is the organoleptic properties (taste, odor, color) and also safety from perceived dangerous levels of microbiological and chemical contaminants. Processes that are utilized by this equipment can reduce chemical contaminants effectively but also will produce a very low TDS drinking water. These processes included RO, DI and distillation. It is important to be assured that the treatment of drinking water by these processes do not cause ill health.

There are two mineral related issues involving low TDS in drinking water:

- Low TDS drinking water and mineral balance for dietary considerations.
- Low TDS drinking water causing leaching of minerals from body tissues leading to ill health.

The first issues have been addressed over the past several years on a worldwide basis and the general consensus is that drinking water should not be considered a dependable source of minerals such as calcium. This paper addresses the second issue only and attempts to answer the question, "Does consuming low TDS drinking water cause mineral and electrolytes to leach from body tissues and subsequently cause ill health?"

Three areas leading to the answer to the above question will be addressed:

- The human body's own control mechanism, homeostasis.
- The 1980 unofficial World Health Organization (WHO) guidelines based on Russian studies that lead to a recommendation of 100 mg/l TDS as a lower limit for drinking water.
- Actual community experience with consumption of low TDS drinking water.

Natural Mineral Balance in the Human Body

The total amount of water in the body of a 70 kg person is 40 liters. This amount includes 25 liters of water inside the cells (intracellular water) and 15 liter of water outside the cells (extracellular water). The average water balance under normal conditions at 20°C is given in Table 1(1).

Under prolonged heavy exercise conditions, the daily sweat loss increase to 5000ml, respiration to 650ml and the daily urine volume decreases to 500 ml with the total average daily water loss of 6600 ml and the daily urine volume decreases to 500 ml with the total daily water loss of 6600 ml.

Table I. Average Daily Water Balance

Daily Intake (ml)	Daily Loss (ml)
Water, beverages ----- 1500	Urine ----- 1400
Metabolic ----- 200	Skin ----- 350
Food ----- 600	Respiration ----- 350
	Sweat ----- 100
	Feces ----- 100
Total ----- 2300	Total ----- 2300

The severe volume and salt losses experienced from prolonged heavy exercise and/or high thermal exposure are best replaced with a water composition more closely aligned with the body's extracellular fluid. Salt water absorbed from the gut is held longer in the vascular compartment than pure water alone. It is consumption more promptly alleviates the signs of severe volume depletion. This is not a normal condition for most individuals in their daily consumption of drinking water. Thus normal conditions (not prolonged exercise and/or unusually high temperatures) are most appropriate for this study on the effects of low TDS drinking water consumption.

Homeostasis

Homeostasis is the maintenance of static or constant conditions in the internal human body environment. This natural process controls the mineral and water concentrations in the body fluids within narrow limits inside and outside all the cells in all the organs and tissues in the human body. The following discussion is based on a major up-to-date physical text(1).

In homeostasis the body fluids involved include both extracellular (plasma and interstitial) and intracellular fluids. The concentration of sodium ions is highest outside the cell walls (approximately 10 fold of that inside the cell) and the concentration of potassium ions is highest inside the cell (approximately 15 fold of that outside the cell).

The total concentration of all the solutes is expressed as milliosmoles per liter (mOsm/l) which relates to the osmotic pressure that drives water through the semipermeable cell walls. The osmolarity of these body fluids at equilibrium is 300 mOsm/l.

When the concentration of solutes is high on one side of the cell wall and low on the other side, water moves across the cell wall from the low solute concentration side to the solute concentration side in order to equalize the osmotic pressure (osmosis). Any change from the normal concentration inside or outside the cell is corrected in one minute or less due to rate of water transport through the cell walls. About 30 minutes is necessary for the whole body to be brought to equilibrium.

If normal drinking water averages about 300mg/l TDS, then the average osmolarity of this drinking water is 10mOsm/l (calculated as NaCl). This normal drinking water osmolarity is far from body fluid equilibrium osmolarity of 300mOsm/l. Water of very low TDS (<100mg/l and <3mOsm/l) is thus not very different from normal drinking water when considering its difference from normal body fluid TDS.

Textbook physiological calculations show that if one liter of water at zero mOsm/l were injected into the extracellular fluid, the osmolarity would decrease to 293mOsm/l, within the homeostatic limits; at two liters it would be 286mOsm/l.

The kidneys control the overall concentrations of the constituents of body fluids. They filter about 180 liters of water per day but over 99% is reabsorbed. Only 1.0 to 1.5 liters are eliminated as urine under normal conditions. If the osmolarity of the fluid to be filtered by the kidney is lower than normal (low solute concentration), nervous and hormonal feedback mechanisms assist the kidney to excrete water at a lower osmolarity and thus raise the solute concentration in the body fluid to normal values. The opposite is true if the solute concentration of the fluid to be filtered is higher than normal.

The homeostatic mechanism in the kidney thus keeps the body fluids at the normal osmolarity value of 300 mOsm/l.

The osmolarity of the fluid to be filtered by the kidney is controlled to $\pm 3\%$ to maintain it at the normal level of 300 mOsm/l. The three basic nervous and hormonal control systems triggered by abnormal solute concentration in the body fluids to filtered by the kidney are anti diuretic hormone(ADH) from the pituitary gland, aldosterone from the adrenal cortex in the brain and thirst also from the brain. An osmolarity rise of about 1% causes thirst.

Osmoreceptors in the brain control the release of ADH(also called vasopressin). ADH is excreted when the plasma is too concentrated and causes the reabsorption of water producing a more concentrated excretion of solutes to decrease the plasma osmolarity. The resulting urine thus has an increased osmolarity being more concentrated in mineral salts. Aldosterone is secreted when the sodium concentration is low in the plasma and causes sodium to be reabsorbed, thus producing a more diluted urine. These control mechanisms keep the sodium concentration at $\pm 3\%$ and the potassium concentration at $\pm 7\%$. Calcium secretion is controlled by parathyroid hormone to \pm a few percent in the extracellular body fluid.

Water diuresis occurs when consuming large amounts of water (water loading). For example, in one case, a person drinking one liter of water caused the urine output to increase eight times after about 45 minutes and continue for two hours. Again the concentrations of solutes in the blood and other body fluids are quickly maintained by the kidney through homeostasis.

Thus, for a normal person, consumption of very low TDS water would not cause mineral depletion due to the homeostasis mechanism in the human body.

Internal Body Secretions

Saliva increases the TDS of drinking water when it is consumed. An average of 800 to 1500 ml of saliva are secreted per day by a normal person. The concentration of sodium chloride in saliva is 15 meq/l or 877 mg/l ; that of potassium ion is 30 meq/l or 1170 mg/l ; and that of bicarbonate ion 50-70 meq/l or 3050-4270 mg/l . As low TDS water is consumed, it is combined with saliva which increases the TDS before it is absorbed in the gut.

Gastric and intestinal secretions also would help increase the TDS of drinking water when consumed. In the stomach, when stimulated (e.g. distention), the hydrochloric acid concentration can be as high as 5600 mg/l while potassium chloride and sodium chloride concentrations are 1120 mg/l and 175 mg/l respectively. Gastric secretions amount to an average of 1500 ml/day in a normal person. Secretions in the small intestine average 1800 ml/day and are almost pure extracellular fluid (300 mOsm/l).

Considering these internal body secretions, it is highly unlikely that, if low TDS water is consumed, the water absorbing through the gut will remain at the low original TDS in a normal person under normal conditions.

Thus, based on the above highly credible and up-to-date textbook knowledge(1), it is difficult to believe that consumption of low TDS water by a normal person under normal conditions would cause unhealthy symptoms. [Normal person means free of diseases affecting the kidneys, hormone balance, etc.].

Unofficial WHO Guidelines

WHO Publication

In 1980 WHO published an unofficial document entitled "Guidelines on Health Aspects of Water Desalination"(2). This review was based almost entirely on publications by Russian authors. Another review was published by Sidorenko et.al.(3).

In these studies dogs, rats, rabbits and human volunteers were used. The drinking water used for these subjects was distillate and reconstituted distillate of chlorides, sulfates and bicarbonates ranging from 50 mg/ℓ to 4000 mg/ℓ. The distillate TDS was not given. The animals and humans were given standardized diets apparently adequate in all nutrients. Some of the animals were sacrificed after the test period and the tissues analyzed. The human volunteers were tested under desert and heavy exercise conditions and also under water loading.

The conclusion of these studies was that drinking water should contain no less than 100 mg/ℓ TDS. It was claimed that consuming drinking water containing less than 100 mg/ℓ caused :

- Reduced thirst quenching capacity.
- Increased consumption and diuresis.
- Leaching of minerals
(sodium, potassium, chloride, calcium and magnesium) in the urine.
- Destructive physiological changes in the cells of the gut.

Analysis

The first series of studies were carried out on rats and human volunteers concerning diuresis and leaching. The analysis is summarized bellow :

- An increase in diuresis was reported and certainly would be expected because water loading was used : "Volhards method" was indicated but not referenced. Standard water loading involves the consumption of 20 ml per kg of body weight within about one hour (1400 ml for a 70 kg person)(4). Water loading does not relate to normal water consumption conditions and thus is an inappropriate methodology.
- There were no hard numbers given for leaching, only a vague percentage of the "amount received" (undefined). It was reported that, among the other minerals, sodium was leaching into the urine. It was also reported that at the same time the sodium level was increased in the blood serum. Dietary sodium was not given.
- Although distillate, 100 mg/ℓ TDS and 1000 mg/ℓ TDS waters were reported to give essentially the same leaching and diuresis results, it was concluded that distillate provided greater leaching/diuresis levels particularly in water loading experiments.

These studies are not scientifically credible for consuming water under normal conditions due to conclusions based on inconclusive and vague data, and inappropriate water loading methodology.

Another set of human studies were carried out under severe water loss conditions : marching under desert conditions. Although the objective was not stated, it appeared that the investigators were trying to show that less volume of higher TDS water (distilled to 3000-4000 mg/ℓ TDS) was required to slake the thirst of the volunteers compared to low TDS water. This might be expected under these conditions except that the composition of the waters were not close to that of extracellular fluid.

The reported results were inconclusive in that the volumes consumed did not show any pattern. For example, in one of the studies, the volume consumed for distillate and 3000 mg/ℓ TDS water

was 1194 ml and 1050 ml, respectively. For 200 mg/l TDS water the consumption was 1616 ml under these severe water loss conditions.

Other Russian studies(5) stated that "sailors at sea" required up to two times the volume of distilled water compared to "standard" water.

Organoleptic properties of water probably contributed to the mixed nature of the reported results : taste would probably affect the volume consumed. The preference for a water taste is learned (based on experience) and thus the human volunteers would have mixed preferences for a particular water composition.

As indicated earlier, normal day to day activities are not associated with extremes in water loss. This methodology is not appropriate for studying the effect of low TDS water on the body under normal conditions.

In further analysis of this unofficial WHO document, the following is noted :

- The animals used were anhidrotic (non sweating-dogs, rats and rabbits) and the observations were used to draw conclusions for humans which are hidrotic. Credible medical opinion has indicated that using fluid, electrolyte and acid-base data from "non-sweaters" to draw conclusion for "sweaters" is "imprudent physiologically if not scientifically erroneous"(6).
- Potential errors were never addressed.
- Mucosal damage in the G.I. tract due to consuming distilled water was reported but can not be substantiated under normal conditions. Under normal conditions, other fluids (coffee, soft drinks, etc.) are mixed wit day-to-day water consumption and, because of the internal elevation of the TDS due to secretions, the G.I. tract never experiences an consistent low TDS solution to cause mucosal cells to be damaged.

- Osmoreceptors were indicated to be in the G.I. tract. This location for osmoreceptors is unknown and no reference was given, and thus is unacceptable physiologically(6).
- The liver was implied to be a repository of salt which is also unknown and unacceptable physiologically(6)

The unofficial WHO guidelines conclusion from these studies that water containing less than 100mg/ℓ is unsuitable for drinking and causes salt leaching is not scientifically or physiologically credible.

WHO Response

WHO was contacted concerning this guidelines publication. A facsimile from WHO's Dr. H.Galal Gorchev dated January 20, 1992 refuted this conclusion, stating (in its entirety) :

"Reference is made to your fax of December addressed to Dr. Warner on the possible health effects of drinking water containing low levels of total dissolved solids. We have no information that such water would have an adverse effect on mineral balance. However, water with extremely low concentrations of TDS may be unacceptable to consumers due to its flat, insipid taste, it is often also corrosive to water supply systems".

Consumption of Low TDS Water : Actual Community Experience

The experience of consuming low TDS water over many years by millions of people also does not support the perception of ill health caused by this water. Several examples are discussed :

The U.S. Navy has used distilled water for human consumption on board ship for over 50 years. This drinking water contains generally less than 3 mg/ℓ TDS. Personnel on submarines, in particular, use

this water (unchlorinated for submarines) for several months at a time. Navy spokesmen have stated that they are not aware of any health problems (e.g. diarrhea) caused by this low TDS water over all the years it has been consumed(7). The U.S. Navy formally addressed the subject of drinking distilled water in 1972. Through the Freedom of Information Act, Captain S.W. Berg, Deputy Director for Preventative Medicine, U.S. Navy Medical Corps sent a copy of a 1972 letter addressing this subject. The letter from the Navy Surgeon General's Office indicated that consumption of distilled water is not harmful. It was also stated that, if the kidneys were impaired so that the water balance is not maintained, any water (low, medium, high TDS, polluted, etc.) can cause problems.

The U.S.Army uses RO units to provide drinking water for soldiers in the field. The units are designed for use on rivers, lakes, etc. where raw water has TDS levels up to 1500 mg/ℓ. If the raw water TDS is low, a very low product water TDS would ensue. The only Army TDS standard is for the drinking water to be below 1000 mg/ℓ. There is no minimum standard. Leaching by low TDS water was never an issue. Army studies (Lawrence Livermore Laboratories) only considered high TDS drinking water which was shown to have a "laxative" effect(8)

The National Aeronautics and Space Administration(NASA) has used 10 megohm water or greater(<0.05 mg/l TDS) on space flights. None of the health effects on humans in space identified by NASA have been attributed to this very low TDS drinking water(9).

San Ysidro.NM was the site of a test conducted for the U.S. Environmental Protection Agency(U.S.EPA) in 1987 to demonstrate the effectiveness of point-of-use RO as a means to reduce arsenic contamination in this small community of about 70 homes(10). The TDS of the raw water was 800mg/l. In addition to reducing the arsenic to levels well below the standard, the TDS was reduced to about 25mg/l. After almost 10 years, RO point-of-use units are still being used in this community. No ill health effects have been observed.

In communities around the world there are millions of people consuming water below 100 mg/l TDS. Table II indicates cities in the U.S. with drinking water at TDS levels below 100mg/l. In addition, The TDS of Lake Tahoe drinking water is about 11 mg/l. None of the responses indicated any related health problems over many years.

Conclusions

It is concluded from this study that human consumption of very low TDS water does not leach minerals from the body that cause ill health effects because;

- The human body's own control mechanism of homeostasis and internal body secretions keep tight controls on body fluid composition regardless of drinking water TDS for a normal person under normal conditions.
- The unofficial WHO document's proposed guideline of a 100 mg/l lower limit for drinking water due to mineral leaching and subsequent ill health was not found to be scientifically or physiologically credible. Leaching of minerals from the body is not officially recognized by WHO.
- The experience of the U.S.. Navy, Army, NASA and community demonstrations do not support ill health symptoms caused by consumption of low TDS drinking water.
- Millions of people regularly consume naturally occurring low TDS water without symptoms of ill health.

Acknowledgment

The author acknowledges the financial support of the Water Quality Association and medical support of Ronald Wathen, M.D., Ph.D.

Table II.
Communities in the U.S. Reporting Low TDS
Drinking Water(11)

Cities	TDS(mg/l)
Baltimore, MD	89
Boston, MA	31 - 64
Charlotte/Mecklenburg, NC	60
Charlottesville, VA	45 - 61
Clackamas, OR	42 - 81
Denver, CO	39 - 216
East Bay MUD, CA	40 - 160
Hartford, CT	50
Manchester, NH	75 - 100
New York, NY	41 - 97
Portland, OR	22
Richmond, VA	70 - 153
San Francisco, CA	27 - 154
Seattle, WA	34 - 47

References

1. Guyton, Arthur L., Textbook of Medical Physiology, W.B. Saunders Company,1991.
2. Sidorenko, G.I., and Rachmanin, Y.A., Guidelines on Health Aspects of Water Desalination, WHO Document No.ETS/80.4 (1980)
3. Sidorenko, G.I., Rachmanin, Y.A. and Strijak, E.K., World Health Forum, 2 (2); 250-257(1981)
4. Carlone, S.et.al., J.Lab. Clin. Med., Sept. 1990,116(3), 298-304.
5. Elpiner,L., personal communication(letter, extracts of thesis, papers)
6. Wathen, R., personal communication.
7. Commander Peake, U. S. Naval Sea Systems Command, personal communication.
Baas, M., U. S. Navy, Bureau of Medicine, personal communication.
8. Lt.Rawlins,P., U. S. Army Surgeon General's Office, U. S. Environmental Hygiene Laboratory, Water Quality Engineering Division, personal communication.
9. Sauer, R. NASA, personal communication.
10. Clifford, D. and Lin, C. C., "Arsenic(III) and Arsenic(V) Removal from Drinking Water in San Ysidro, New Mexico",U.S.EPA Report No. EPA/600/S2-91/011,June 1991.
11. Water Quality Association, Lisle, Illinois.

물이 인체 건강에 미치는 영향

오래동안 인간은 건강의 증진과 악화의 원인을 먹는물의 수질과 결부시켜서 생각해 왔다. 실제 장티푸스를 일으키는 병원성 유기물이나 암을 유발시킬 수 있는 화학적 오염물이 그 좋은 예이다.

미네랄 함량이 높은 자연수의 음용은 일반적으로 건강에 유익하다고 생각한다. 증류수처럼 TDS가 낮은 물은 관절에 침착된 칼슘을 세척하기 때문에 관절염에 치료효과를 준다고 믿어진다. 반면에 증류나 역삼투법, 그리고 탈이온법에 의해 처리되어 TDS가 매우 낮은 물을 음용하는 것은 인체로부터 미네랄 결손을 일으켜 건강을 악화시킨다고 많은 사람들이 믿고 있다.

음용수 처리장비나 생수 등의 시장수요가 증가하고 있는 주요한 원인은 물의 맛이나 냄새, 그리고 색깔 때문이며 미생물이나 화학물질의 오염에 대한 안전을 위해서이다. 이런 처리장비의 사용으로 화학적 오염물을 효과적으로 제거할 수 있으며 매우 낮은 TDS의 물을 생산할 수 있게 된다. 이러한 공정에는 역삼투법, 탈이온법, 증류법등이 있으며 이들 공정에 의해 음용수를 처리해야만 건강에 악영향을 미치지 않게 된다.

낮은 TDS의 물을 음용 하는데 대한 미네랄과 관련된 2가지 이슈가 있다.

- 식사에 대한 TDS가 낮은 물과 미네랄 밸런스
- TDS가 낮은 물에 의한 인체조직의 미네랄 결손과 건강악화

첫번째 이슈는 지난 몇년간 전세계적으로 거론되어 왔으며, 음용수는 칼슘과 같은 미네랄의 일부분만을 가지고 고려되어서는 안 된다는 결론만 나와 있다. 이 글은 오로지 두번째 이슈에 관해서만 언급되어 있으며 과연 TDS가 낮은 물의 음용이 인체조직의 미네랄 결손과 건강을 악화시키는 가에만 중점을 맞출 것이다.

위 질문에 대한 해답을 위해 다음을 살펴보자.

- 인체를 스스로 제어할 수 있는 항상성
- 1980년 러시아의 TDS가 100mg/l 이하인 물의 음용과 관련한 세계 보건기구(WHO)의 비공식 발표
- 실제 TDS가 낮은 물의 단체 음용 사례

인체의 자연적인 미네랄 밸런스

체중이 70kg인 사람의 인체에 함유되어있는 총 수분량은 40 l 이다. 이 양은 세포 내에 25 l가 함유되어 있고 세포 외부에 나머지 15 l가 함유되어있다. 20°C의 정상적인 컨디션에서 평균적인 물의 밸런스가 Table 1.에 주어져 있다. 연속적인 과다 운동하에서 매일 땀에 의한 손실이 5000ml, 호흡에 의한 손실이 650ml씩 증가하는 반면 매일 평균적으로 6600ml의 손실과 함께 오줌량은 500ml씩 감소한다.

표 1. 평균적인 물의 Balance

Daily Intake(ml)	Daily Loss(ml)
Water, beverages ----- 1500	Urine ----- 1400
metabolic ----- 200	Skin ----- 350
Food ----- 600	Respiration ----- 350
	Sweat ----- 100
	Feces ----- 100
Total ----- 2300	Total ----- 2300

과다한 운동이나 높은 열에 노출되었을 때의 수분과 소금의 손실은 세포 외의 액체로부터 보충되어진다. 내장에서 흡수되는 소금물은 순수한 물에 비해 혈관에서 훨씬 더 오래 그 기능을 발휘한다. 이는 인체의 수분 고갈을 즉시 완화시켜 줄 수 있다. 하지만 이것은 매일 정상적으로 물을 음용하는 사람들에게 대한 일반적인 경우는 아니다.

이 연구는 정상적인 컨디션에서 TDS가 낮은 물을 음용함으로써 나타나는 효과에 대한 것이다.

항상성

항상성이란 인체 내부의 환경을 항상 일정하고 지속적인 상태로 유지하는 것을 말한다. 이 자연적인 과정은 인체에서 모든 기관과 조직의 세포외부와 내부사이의 액체중에 미네랄과 물의 농도를 제어한다.

아래의 사항들은 최신 생리학 교본을 기초로 한다. 항상성의 측면에서 인체내 액체는 세포 외부의 액체와 내부의 액체로 나누어진다. 나트륨 이온(Na^+)의 농도는 세포벽의 외부에서 가장 높고 칼륨의 농도는 세포 내에서 가장 높다.

모든 용질의 농도는 반투과성의 세포벽을 통해 물을 투과시키는 삼투압과 관련하여 milliosmole/l (mOsm/l)로 나타낸다. 평형조건에서 이러한 액체의 삼투능은 300mOsm/l 이다. 세포벽 한쪽의 용질농도가 높거나 낮은 경우 물은 낮은 농도의 용질 쪽에서 높은 농도의 용질 쪽으로 세포벽을 통과해 이동한다. 세포벽의 외부나 내부에서 정상적인 농도에 변화가 생기면 세포벽을 통한 물의 이동으로 1분 이내에 즉시 조절된다. 몸전체의 균형을 위해서는 약 30분 정도가 소요된다.

만약 TDS 300mg/l 의 정상적인 물을 음용한다면 이 물의 평균적인 삼투능은 10mOsm/l 이다. 이 정상적인 음용수의 삼투능은 인체내 액체의 평형 삼투능 300mOsm/l 와 상당한 차이를 나타낸다. TDS가 아주 낮은 물의 경우도 정상적인 인체내 액체와의 차이를 고려해 볼때 정상적인 음용수와 크게 차이가 나지 않는다.

생리학 교본에 의하면 삼투능이 0인 상태에서 1l의 물이 세포외부의 액체내로 분사되었다면 항상성의 한계내에서 그 삼투능은 293mOsm/l로 감소할 것이고, 2l가 분사되었다면 286mOsm/l로 감소한다.

신장은 인체내 모든 액체의 농도를 조절한다. 하루에 180l의 물을 걸러내며 99% 이상을 재 흡수한다. 정상적인 컨디션에서 오로지 1.0~1.5l의 물만이 오줌으로 배출된다. 만약, 신장에 의해 걸러지는 액체의 삼투능이 정상적인 컨디션에서 보다 낮다면 신경과 호르몬의 피이드백 메카니즘이 낮은 삼투능에서도 물을 배설할 수 있도록 신장을 돕는다. 이처럼 정상적인 수치에서 체액의 용질농도를 상승시킨다. 반대로 걸러지는 액체의 용질농도가 정상적인 경우보다 높더라도 마찬가지이다.

이런 신장의 항상성 메카니즘은 300mOsm/l의 정상적인 수치로 체액을 유지시킨다.

신장에 의해 걸러지는 액체의 삼투능은 정상수치인 300mOsm/l에서 $\pm 3\%$ 정도로 조절된다. 신장에서 걸러지는 체액의 비정상적인 용질농도에 의해 발생하는 3가지의 기본적인 신경과 호르몬의 제어시스템은 뇌하수체에서 분비되는 항이뇨호르몬(ADH)과 뇌의 부신피질에서 분비되는 Aldosterone, 그리고 뇌에 의해 제어되는 갈증이다. 1% 정도의 삼투능 상승은 갈증을 불러일으킨다.

뇌의 삼투기관은 ADH의 분비를 제어한다. ADH는 플라스마가 상당량 농축되어 물이 재 흡수될때 배출된다. 결과적으로 오줌은 무기염이 농축되어 삼투능이 증가할때 생성된다.

Aldosterone은 플라스마내의 나트륨 농도가 낮을때 배출되어 나트륨을 재 흡수한다. 이로써 보다 희석된 오줌이 생성된다. 이러한 제어 메카니즘은 나트륨 농도를 $\pm 3\%$, 칼륨의 농도를 $\pm 7\%$ 로 유지한다. 갈증의 분비는 세포 외부의 체액에서 부갑상선의 호르몬에 의해 몇 % 정도로 제어된다.

많은 양의 물이 소모되었을 때는 물이 오줌과 함께 배출된다. 예를 들어 물 1ℓ를 마시는 사람은 45분 후에 8배 정도의 오줌량이 증가하게 되며 이는 2시간 동안 지속된다. 혈액과 체액내 용질의 농도는 신장에서 빠른 속도로 그 항상성이 유지된다. 이처럼 정상적인 사람의 경우 TDS가 낮은 물을 섭취해도 인체의 항상성 메카니즘으로 미네랄의 결손은 발생하지 않는다.

체내분비

음용수를 섭취할 때 침은 TDS를 증가시킨다. 정상적인 사람은 하루에 평균적으로 800ml~1500ml의 침을 분비한다. 침속의 소금 농도는 15meq/l(877mg/l)이며, 칼륨이온의 농도는 30meq/l(1170mg/l), 중탄산이온의 농도는 50~70meq/l(3050~4270mg/l)이다. TDS가 낮은 물을 섭취할지라도 이는 침과 함께 혼합되어 장으로 흡수되기 전에 TDS가 증가한다.

또한, 위와 장에서의 소화액 분비로 음용수의 TDS가 높아진다. 위가 자극을 받으면 염산의 농도는 5600mg/l로 높아지는 반면, 염화칼륨과 염화나트륨의 농도는 각각 1120mg/l와 175mg/l가 된다. 정상적인 사람의 경우 평균적으로 1500ml/day의 위산을 분비한다. 소장은 평균적으로 1800ml/day의 소화액을 분비한다.

이러한 체내 분비를 고려해 볼 때 TDS가 낮은 물을 섭취하면 장을 통해 흡수되는 물이 원래대로 TDS가 낮은 상태로 흡수된다는 것은 상상도 할 수 없는 일이다.

비공식적인 WHO의 발표

WHO의 발표

1980년 WHO에서 "물의 탈염화에 의한 건강의 악영향에 대한 발표"라는 제목의 비공식적인 책자가 발간되었다. 이는 러시아 저자의 출판물에 근거를 두고 있다.

이 연구에서는 개, 쥐, 토끼가 사용되었고 지원자도 포함되었다. 이를 위해 사용된 음용수는 증류시키고, 염소, 황산, 중탄산을 50~4000mg/l 까지 재구성시킨 것이다. 증류수의 TDS는 무시되었다. 동물과 인간은 모든 구성성분을 명백하게 알 수 있는 표준화된 식사가 주어졌다. 동물의 일부는 실험 후 조직검사를 위해 해부되었다. 지원자는 물이 부족한 사막과 같은 상황과 심한 운동을 한 상황 그리고 물이 풍부하게 공급되는 상황에서 각각 실험되었다.

이 연구의 결론은 음용수는 TDS 100mg/l 이상을 함유해야 한다는 것이다. 만약 100mg/l 이하의 음용수를 섭취하게 되면

- 갈증해소 능력이 떨어지고
- 물의 섭취와 이뇨가 증가하고
- 오줌 속의 미네랄이 걸러지며
- 장세포의 생리현상이 파괴된다는 것이다.

분석

첫번째 연구는 쥐와 사람에게 대해 이뇨와 여과를 중점으로 실시되었으며 이를 요약하면

- 이뇨의 증가는 물이 풍부했기 때문이며 Volhards method에 의해 표준적으로 한시간에 체중 1kg당 20ml의 물을 흡수한다. 따라서 물 부하는 정상적인 물섭취 상황과 관련이 없고, 이방법 또한 부적절했다.

- 여과되는 양이 애매하게 표시되어 있으며 이는 다른 미네랄 사이에서도 나트륨이 오줌에서 제거된다는 것을 나타낸다. 동시에 나트륨의 수치가 혈청 내에서 증가되었다고 보고되었으며 음식속의 나트륨은 존재하지 않았다.
- TDS 100~1000mg/l의 증류수가 똑같이 걸러지고 배뇨되었다 해도 증류수는 물의 부하실험에서 부분적으로 더 높은 여과/배뇨가 이루어 졌다.

이러한 연구는 결론이 결정적이지 못하며 자료가 애매하고, 물부하 방법이 부적절하므로 과학적으로 정상적인 상황에서 물의 섭취에 대한 신빙성이 없다.

또, 다른 인간 연구에서 사막과 같은 아주 물이 부족한 상황이 있다. 이 실험의 목적은 연구자들이 낮은 TDS의 물에 비해 더 높은 TDS 물의 소량이 지원자의 갈증을 해소시켰다고 보고 있다. 이것은 그 물의 성분이 세포 외부액체의 성분과 유사하지 않다는 것을 제외하고 이러한 상황에서 기대될지도 모른다.

이 보고서의 결과는 소비된 양이 어떤 양상을 보여 주지 못하므로 결정적이지 못하다는 것이다. 예를들어 한 연구에서 증류수로 소비된 양이 1194ml였고, TDS 3000mg/l인 물이 1050ml였다. 200mg/l의 TDS 물에 대한 소비는 이러한 물부하 상황에서 1616ml였다.

기타 러시아의 한 연구는 바다의 선원이 표준적인 물에 비해 2배의 증류된 물이 필요로 하다고 보고하고 있다. 물의 Organoleptic 속성은 보고결과의 복합적인 혼합형태로 나타난다.

맛은 섭취량에 영향을 준다. 물맛에 대한 선호는 경험을 통해 습득되며 이처럼 인간 지원자들은 특별한 물에 대해 복합적인 선호양상을 보이고 있다.

일찌기 알려진 것처럼 매일매일 정상적인 활동은 물의 손실과 관련이 없다. 이 방법은 정상적인 상황에서 인체에 낮은 TDS의 물이 영향을 주는 연구로 적절하지 못하다는 것이다. 이 WHO의 비공식 문서를 심층적으로 분석해보면 아래의 사항에 주목하게 된다.

- 비발한성 동물(개, 쥐, 토끼등)에 대한 실험을 통해 발한성인 인간에 대한 결론을 도출하였다. 의학적 관점에서 발한성 생물체에 대한 결론을 얻기위해 비발한성 생물체로부터 얻은 체액, 전해질, 산-알칼리 Data를 과학적인 오류는 없을지라도 생리학적으로는 신중하지 못한 것이다
- 발생할 수 있는 오류에 대해서는 전혀 언급되지 않았다.
- 증류수를 소비함에 따른 위장관의 점막손상은 보고된바 없지만 정상 조건하에서 확신할 수는 없다. 정상조건하에서 매일매일 액체(커피, 청량음료등)와 소비한 물이 서로 혼합되고 분비물에 의한 내부 TDS가 상승하기 때문에 위장관은 점막세포의 손상을 일으키는 저농도 TDS 수용액을 결코 느끼지 못한다.
- 삼투압 감각기관은 위장관에 존재한다고 밝혔다. 그러나, 삼투압 감각기관의 위치에 대해서는 알려진바 없으며, 참고문헌 또한 없다. 따라서 생리학적으로 인정될 수 없다.
- 간은 Salt의 저장소임을 암시했다. 그러나 역시 알려지지 않은 사실이며 생리학적으로 받아들여질 수 없다.

TDS 100ppm 이하의 물은 음용수로서 부적합하고 Salt 삼출을 일으킨다는 이들 연구에 대한 WHO의 비공식적 입장은 과학적, 생리학적으로 인정할 수 없다는 것이다.

WHO의 반응

1992년 1월 20일자 WHO H.Galal Gorcev 박사의 Fax에 의하면 이 결론을 전면 부정했다.

“저농도 TDS를 포함하고있는 음용수가 인체에 미치는 영향에 대한 참고문헌은 12월 Warner 박사에게 보낸 당신의 Fax로 되어 있으며 우리는 저농도 TDS의 물이 미네랄 균형에 영향을 미친다는 어떤 자료도 소장하고 있지 않다. 그러나 대단히 저농도 TDS의 물은 그 물맛이 맛있게 하고 가끔은 급수시스템의 부식문제를 야기시킬 수 있기 때문에 소비자들로부터 외면 당할 수 있을지는 모르겠다”

낮은 TDS의 물에 대한 집단 음용의 예

오랫동안 수백만명의 사람들이 낮은 TDS의 물을 집단으로 음용한 결과 건강에 악영향이 없다는 것으로 나타났다. 몇가지 예는 다음과 같다.

미해군은 50년 이상을 증류된 물을 음용해 왔다. 이 음용수는 일반적으로 TDS가 3mg/l 이하이다. 해군 대변인은 낮은 TDS 물의 섭취로 건강상에 아무런 문제가 없었다고 발표했다.

미해군은 공식적으로 1972년에 이 문제에 관해 거론하였다. 해군의 보건국 또한 이 물의 섭취가 전혀 해롭지 않다고 발표하였다. 게다가 만약 신장이 손상될 만큼 물의 평형이 유지되지 않는다면 어떤 물이든지 문제를 일으킬 수 있다는 것이다.

미육군은 야전의 음용수 공급을 위해 역삼투 장치를 공급하고 있다. 이 장치는 강이나 호수등의 TDS가 높은 원수(1500mg/l)를 처리한다. 만약 원수의 TDS가 낮으면 더 낮은 TDS의 물이 생산된다.

육군의 마시는 물의 규정 TDS는 1000mg/l 이하이다. 최하의 기준은 없다. 낮은 TDS로 문제가 되었던 적은 없으며 육군의 연구에 의해 높은 TDS의 물이 설사를 일으킨다고 보고된 적은 있다.

NASA는 TDS가 극도로 낮은 물(<0.05mg/l TDS)을 사용해 오고 있다. 이 물의 음용에 의한 건강의 악영향은 발생하지 않았다고 보고되었다.

San Ysidro는 1987년 70가구에 대해 비소(As) 오염제거를 위해 역삼투의 성능에 대한 미국 환경보호국의 실험이 행해진 지역이다. 원수의 TDS가 800mg/l였다. 기준치 이하로 비소(As)량을 낮추기 위해 TDS가 25mg/l 정도로 제거되었다. 거의 10년 동안 역삼투에 의한 처리수를 음용하고 있다. 하지만 건강상에 어떤 문제가 나타나는 사람은 없다.

세계의 각 지역에서 수백만의 사람들이 TDS 100mg/l 이하의 물을 음용하고 있다. Table 2는 미국에서 TDS 100mg/l 이하의 물을 음용하고 있는 지역을 표시한다. 게다가 Tahoe 호수의 TDS는 불과 11mg/l였으나 수년동안 건강상 문제는 없었다.

결론

이 연구의 결론은 낮은 TDS의 물이 아래의 이유들 때문에 인체의 건강상에 아무런 영향을 미치지 않는다는 것이다.

- 항상성을 유지하는 인체의 메카니즘은 정상적인 상황에서 정상적인 사람이 TDS가 낮은 물을 음용해도 체액의 소비에 대한 조절기능에 아무런 영향을 미치지 않는다는 것이다.
- 비공식적인 WHO의 발표는 과학적으로나 생리학적으로 미네랄 결손에 대한 아무런 신빙성을 제공하지 못한다. WHO에서 조차 이 사항은 공식적으로 인정되지 않고 있다.

- 미해군, 미육군, NASA, 그리고 집단 음용의 예를 보더라도 TDS가 낮은 물이 인체에 악영향을 미친다고 볼 수 없다.
- 자연적으로 TDS가 낮은 물을 섭취하는 수백만의 사람들 사이에도 건강상의 아무런 영향을 미치지 않고 있다.

표 II. 미국에서 낮은 TDS의 물을 음용하고 있는 지역

Cities	TDS(mg/l)
Baltimore, MD	89
Boston, MA	31 - 64
Charlotte/Mecklenburg, NC	60
Charlottesville, VA	45 - 61
Clackamas, OR	42 - 81
Denver, CO	39 - 216
East Bay MUD, CA	40 - 160
Hartford, CT	50
Manchester, NH	75 - 100
New York, NY	41 - 97
Portland, OR	22
Richmond, VA	70 - 153
San Francisco, CA	27 - 154
Seattle, WA	34 - 47