

海洋深層水から精製した海水由来の新素材 —トレハロース／ミネラル複合体の血漿マグネシウム回復および血糖低下作用—

隅田 有公子¹⁾, 矢吹 朋美¹⁾, 合田 一二三¹⁾, 渡邊 慶子²⁾,
義基 帯刀³⁾, 島田 郁子¹⁾, 川村 美笑子¹⁾

¹⁾高知女子大生活科学部健康栄養学科栄養学研究室*,

²⁾高知医療センター・栄養局**, ³⁾ニュートリー(株)***)

Effect on Plasma Magnesium Deficiency and Blood Glucose Level by Intake of Mineral Treha (Trehalose / Refining Sea Water from Deep-Sea Water Complex)

Yukiko SUMIDA¹⁾, Tomomi YABUKI¹⁾, Hifumi GOUDA¹⁾,
Keiko WATANABE²⁾, Tatewaki MOTOYOSHI³⁾, Ikuko SHIMADA¹⁾ and Mieko KAWAMURA¹⁾

¹⁾Laboratory of Nutrition, Faculty of Human Life and Environmental Science,

Kochi Women's University, Kochi 780-8515, Japan,

²⁾Kochichi Health Science Center, Kochi 781-8555, Japan,

³⁾NUTRI : Co.,Ltd. Yokkaichi 510-0013, Japan

Summary

It has been about ten years since drinking water was developed originally from Deep-Sea Water which was made for the first time in the world. However, different methods of making drinking water from clean and rich in minerals Deep-Sea Water that is very valuable for use cause to make water including different mineral composition and relations to health for each. The authors succeeded development of refining sea water from Deep-Sea Water using trehalose firstly in the world, which was made from Muroto Deep-Sea Water with the original method. This study are reported about the use of trehalose/refining sea water from Deep-Sea Water complex as follows; 1) response of magnesium readministration and effect on blood glucose level to animal and human 2) the possibility of application to food for individuals with mastication and swallowing difficulty, which is demanding better food in clinical business.

深層海水を原料とした飲料水が世界で初めて作成されてから10年余りが経過した。清浄かつミネラル豊富な付加価値の高い海水から作成される飲料水について、ミネラル栄養と健康との観点から報告されている¹⁻³⁾。一方、わが国では、ミネラル摂取不足が指摘されてきているが、代謝

疾患、循環器疾患や中枢神経疾患などMg栄養についての問題が再燃してきている。マグネシウム(Mg)の摂取不足だけでなく、食品中Mgの形態や生体における吸収などの状態も何らかの関わりを有していることは十分考えられる⁴⁾。

Table 1 Composition of mineral treha*

	Hardness	Mg	Ca	K	Na
Deep-sea water origin		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
	5,940	1,200	400	400	10,000
Refining of sea water from	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Deep-sea water origin	40,000	8,210	2,440	4	340
Mineral treha*	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
	20,000	4,170	1,130	2	64

* Mineral treha : Solution of trehalose/refining of seawater from deep-sea water origin complex.

*所在地：高知市永国寺町 5-15 (〒780-8515)

**所在地：高知市池 2125-1 (〒781-0111)

***所在地：四日市市富士町 1-122 (〒510-0013)

川村らは、高知県室戸沖の深層海水より独自の製法で得た海水（ミネラル調整液⁵⁾を粉末化（トレハロース/ミネラル複合体、以下 ミネラルトレハ^{6,7)}した（Table 1）。本研究では、ミネラルトレハの中のMgに焦点をあて、Mg欠乏後の負荷による血漿Mg回復および添加食品（飯、そしゃく・えん下困難者用食品）の血糖低下作用について検討した。

実験方法

生後5週齢平均体重約25gのddY系雄マウスを、対照群24匹、Mg欠乏群60匹の2群に分け、それぞれの群に、正常合成飼料、Mg欠乏飼料を蒸留水とともに14日間与え、摂餌飲水は自由とした。飼料の組成は、Table 2に示した。

Table 2 Composition of diet

	Normal diet	Mg deficient diet (g/100 g)
Casein	20.30	20.30
Starch	65.00	65.00
Olive oil	5.00	5.00
Vitamin mixture	1.00	1.00
Salt mixture ¹⁾	3.50	0
Salt mixture ¹⁾ (Mg free)	0	3.50
Mg	0.05	Tr.
Ca	0.52	0.52

¹⁾AIN-76 mineral and vitamin mixture (1977) J. Nutr. 107: 1340.

Mg欠乏群を6群（① Mg欠乏食-ミネラル調整液、② Mg欠乏食-塩化Mg・乳酸Ca混合溶液、③ Mg欠乏食-ミネラルトレハ溶液、④ Mg欠乏食-蒸留水、⑤ Mg欠乏食-トレハロース溶液、⑥ 正常食-蒸留水）に分け、飼育15日目から各群の飼料、飲料水に切りかえて与え、17日目まで飼育し、摂餌飲水は自由とした。飲料水をTable 3に示す。試験飲料水には、ミネラル調整液（高知県室戸沖より取水した海洋学的には中層水である深層海水の原水を膜処理技術で、濃度比8倍以上、硬度約5万に非加熱で濃縮し、粉末化や濃縮の制限要因となる硫酸イオン濃度を1,000 mg/L以下に、ナトリウム濃度も1,000 mg/L以下に低減した海水）、ミネラルトレハ（ミネラル調整液をトレハロースで粉末化した糖ミネラル複合体の溶液）、塩化Mg

および乳酸Caの混合溶液、トレハロース溶液、蒸留水を用いた。飲料水は、トレハロース溶液、蒸留水を除いて、硬度500（Mg濃度101.04 mg/L）に調整した。

飼料総摂取量、飲水総摂取量および体重を経時的に測定した。心臓採血を行い、血漿中のMg、Caを、キシリジブルー法、OCPC法にて測定した。統計処理はWelchのtテストを用いた。

飯およびそしゃく・えん下困難者用食品摂取の被検者には実験の主旨、方法を説明し同意を得た。摂取時間は5分以内とし、摂食開始を食後血糖測定時間の開始とした。被検者は実験実施当日の朝食は摂取せずに、測定は午前中に実施した。空腹時から摂食後30分毎に食後2時間までの血糖値を簡易血糖測定器（グルテストエース）にて測定した。

家庭用炊飯器で、5種の溶液（①ミネラル調整液、②塩化Mg・乳酸Ca混合溶液、③ミネラルトレハ溶液、④蒸留水、⑤トレハロース溶液）で炊いた精白米あるいはマンナンヒカリ米（こんにやく精粉を使って米粒状に加工した高繊維含有食品、食物繊維20.6 g/75 gのマンナンヒカリ米）の飯を、健康な成人女子4名に、各168 kcalを与えた。空腹時から飯摂取30分後までの左手の甲における組織酸素化血液量、組織脱酸素化血液量、組織全血液量、酸素飽和量をオキシメータ（レーザー組織血液酸素モニター、オメガモニター TR BOM-L17RW）を用いて、連続的に測定した。

市販の食材（トマト、カボチャ、ニラ）を蒸すあるいは茹でた後、ペースト状にし、ミネラルトレハを添加してそしゃく・えん下困難者用食品を作成した（食品名：ペースト（g）、とろみ剤量（g）、ミネラルトレハ（g）and/or 砂糖（g）の順に、重湯ゼリー：200、ゼラチン3.0、ミネラルトレハ8、ゆずゼリー：180、ゼラチン2.3、ミネラルトレハ7、にらごま豆腐：100、ソフティア②15、かぼちゃゼリー：100、ゼラチン2.5、ミネラルトレハ10、砂糖8、トマトゼリー：200、ゼラチン4.5、ミネラルトレハ12、砂糖1、トマトゼリー：200、ソフティア②12、砂糖1）。作成した食品、各4~5についてテンションメータ（山電製レオナー RE-3305S）でゲル強度、付着性、凝集性を測定（条件は、プランジャー：φ20 mm、測定歪率：33.3%、サンプル圧：30 mm、押し込み距離：10 mm、押し込み速度：10 mm/sec、測定温度：5℃）した。この値を、厚生

Table 3 Drinking water for experiment

Drinking water
(1) group ①: Mg deficient diet - refining of seawater from deep-sea water origin
(2) group ②: Mg deficient diet - solution of magnesium chloride and calcium lactate
(3) group ③: Mg deficient diet - solution of Mineral treha*
(4) group ④: Mg deficient diet - distilled water
(5) group ⑤: Mg deficient diet - trehalose solution
(6) group ⑥: Mg sufficient diet - distilled water

(group ①, ②, ③: Mg concentration 101.04 mg/L)

* Mineral treha: Solution of trehalose/refining of seawater from deep-sea water origin complex.

労働省「そしゃく・えん下困難食基準」⁸⁾および金谷等⁹⁾の嚙下食レベル (かたさ N/m², 凝集性, 付着生 L/m²の順に, L0: 開始食 2,000~7,000, 0.2~0.5, 200 以下, L1: 嚙下食 1,000~10,000, 0.2~0.7, 200 以下, L2: 嚙下食Ⅱ 12,000 以下, 0.2~0.7, 300 以下, L3: 介護食Ⅲ 15,000 以下, 0.2~0.9, 1,000 以下, L4: 介護食 (移行食) 40,000 以下, 0~1.0, 1,000 以下, L5: 普通食) を基に評価した。また, トマトゼリー<食品名: パースト (g), とろみ剤量 (g), ミネラルトレハ (g) and/or 砂糖 (g) の順に, ミネラルトレハ添加ゼリー (16 個分量): 500, ゼラチン 11.25, ミネラルトレハ 38 (Mg 158.46 mg), 砂糖添加ゼリー (16 個分量): 500, ゼラチン 11.25, 砂糖 38>については, 離水状況 (それぞれの試料を -17℃ で凍結し, 室温 25℃ で解凍 2 時間後の離水量を測定, 解凍 3 時間後の表面状態を観察), 食味テスト (女子大生 24 名, 22~23 歳を対象, 2 点比較法 pair test, 両側検定), 血糖値測定 (成人女性, 30.8 ± 18.2 歳を対象, Welch の t テスト) を実施した。

結果と考察

1. Mg 欠乏マウスの血漿 Mg レベル

飼料総摂取量, 飲料総摂取量および体重は, 対照群と比較し, Mg 欠乏食群において有意な差は認められなかった。Mg 欠乏食群の血漿 Mg 濃度は対照群と比較し, 飼育 4 日目より低下, 日数の経過にともなってさらに低下し 8 日目より有意に低下した (Fig. 1)。対照群の血漿 Mg 濃度は 2.0 mg/dL~3.0 mg/dL で推移し, 欠乏群は 8 日目より 2.0 mg

/dL を下回り, 14 日目の血漿 Mg 濃度は 0 日目の約 1/2 量であった。また, 血漿 Ca 濃度のデータを示さないが, 対照群と比較し, Mg 欠乏群では飼育 4 日目と 6 日目に有意に低値を示した。

Mg 欠乏食で 14 日間飼育マウスに, 15 日目~17 日目の 3 日間, 6 種類の飲料水を与えた場合の血漿 Mg 濃度および飼料総摂取量・飲料総摂取量中 Mg 量 (摂餌水量からの計算値) を, 15 日目を 0 日目として Fig. 2 に示した。血漿 Mg 濃度は, 継続摂取 1 日目および 3 日目ともに対照群の正常食群が最も高くなり, 次にミネラルトレハ溶液群と続いた。3 日目には正常群およびミネラルトレハ溶液群の血漿 Mg 濃度は 2.0 mg/dL を上回った。ミネラルトレハ

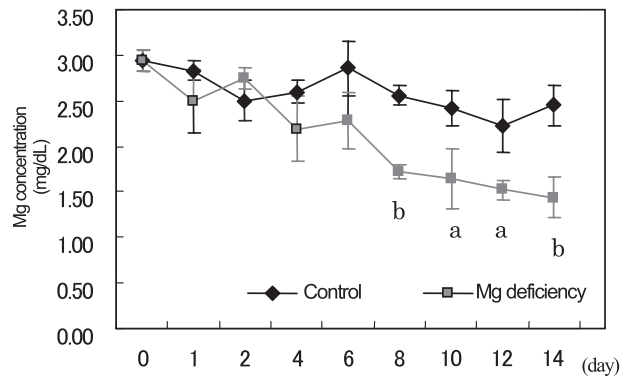


Fig. 1 Magnesium concentration of plasma in mice fed magnesium deficient or sufficient diet for 14 days. Data are means ± S. E. (n = 3-4). Deficient group vs control group (a: $P < 0.025$, b: $P < 0.05$).

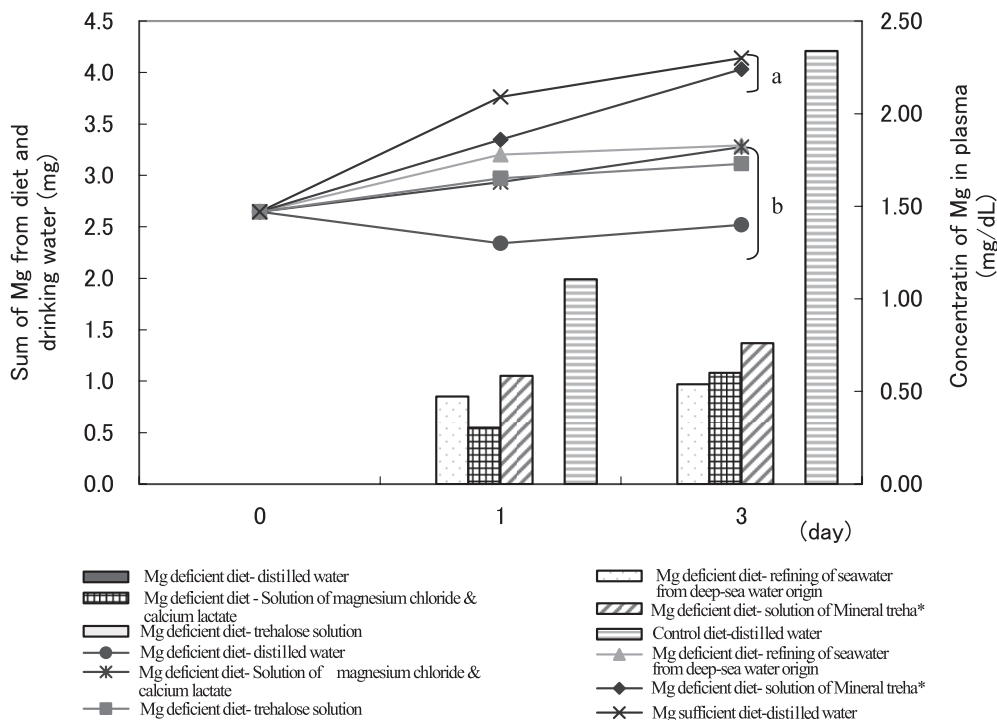


Fig. 2 Effect of readministration after magnesium deficiency on plasma magnesium concentrations in mice. Means ± S. E. (n = 3-4). a vs b: $P < 0.005$. Mineral treha*: Solution of trehalose/refining of seawater from deep-seawater origin complex.

溶液群の摂餌飲総 Mg 量は正常食群の 1/2 量以下であったが、血漿 Mg 濃度は正常食群の血漿 Mg 濃度と同レベルを示した。ミネラルトレハ溶液群の摂餌飲総 Mg 量は正常食群の 1/2 量以下であったが、血漿 Mg 濃度は正常食群の血漿 Mg 濃度と同レベルを示した。これは、ミネラルトレハ（トレハロース/ミネラル複合体）の化学形態¹⁰)に起因し、経口摂取されてから小腸まで、トレハロースと Mg が結合されたままで運搬されることが予測され、吸収の場である小腸に至るまでの過程で Mg のロスが少なく、小腸上皮細胞表面で Mg とトレハロース、続いて Mg と 2 分子のグルコースに分解され、効率よく徐々に吸収されるメカニズムが考えられる。ヒトでは、血漿（清）Mg 量は体内総 Mg 量のわずか 0.3% にすぎないが、日常臨床で、最も測定が容易であることから、本実験でも血漿を指標として検討した。しかし、血漿 Mg 量は他の電解質、とくに K, P, Na, Ca とのバランスや吸収も関連性があり、今後、これらの事実について詳細な検討を加える必要がある。

2. 添加食品摂取後の血糖値変動

5 種類の飲料水で炊いた飯の摂取開始後の組織血液流量を Fig. 3a, b に示した。精白米飯摂取では、ミネラルトレハ群では組織脱酸素血液量と組織血液量の増加が認められ、組織代謝によって産生される二酸化炭素量の上昇による代謝改善が示された。マンナンヒカリ米飯摂取では、精白米

飯摂取と異なり、組織血液流量の挙動には変化が認められなかった。飯摂取後の血糖値変動について、空腹時の値を 0 として Fig. 4a, b に示した。精白米飯において、最大血糖値はトレハロース群と蒸留水群であったが、前者のピークは後者より前にシフトしていた。ミネラルトレハ群、ミネラル調整液群で、他の 4 群に比較して血糖値の低下を認めた。マンナンヒカリ米において、全群が、60 分後に最大値を示し、また精白米飯に比較して食後上昇幅が少なかった。ミネラルトレハ群のみが他の 5 群に比較して有意に血糖値の低下を認めた。

ミネラルトレハ入りそしゃく・えん下困難者用食品（ゼリー状食品）6 種類のゲル強度、付着性、凝集性について Table 4 に示した。どの食品も付着性が低く、かたさもほぼ適正であった。凝集性も高いものが多く、低いものに関しては、増粘剤、ゼラチンの量を調整することでそれぞれのレベルに対応できることが分かった。かたさについての厚生労働省特別用途食品の「そしゃく・えん下困難者用食品」の規格は 10,000 N/m² 以下とされており、ゼラチンを使用した重湯ゼリー、ソフティア²ゲルを利用したトマトゼリーは規格よりも高い数値を示した。しかし、これらは増粘剤（ゼラチン、ソフティア）の濃度を下げることで規格内の値にすることができた。食塊形成を行う上で、ある程度のゲル強度（3,000 N/m² 程度）が必要であると考えられ、ゼラチンで作成したトマトゼリーは若干ゲル強度を

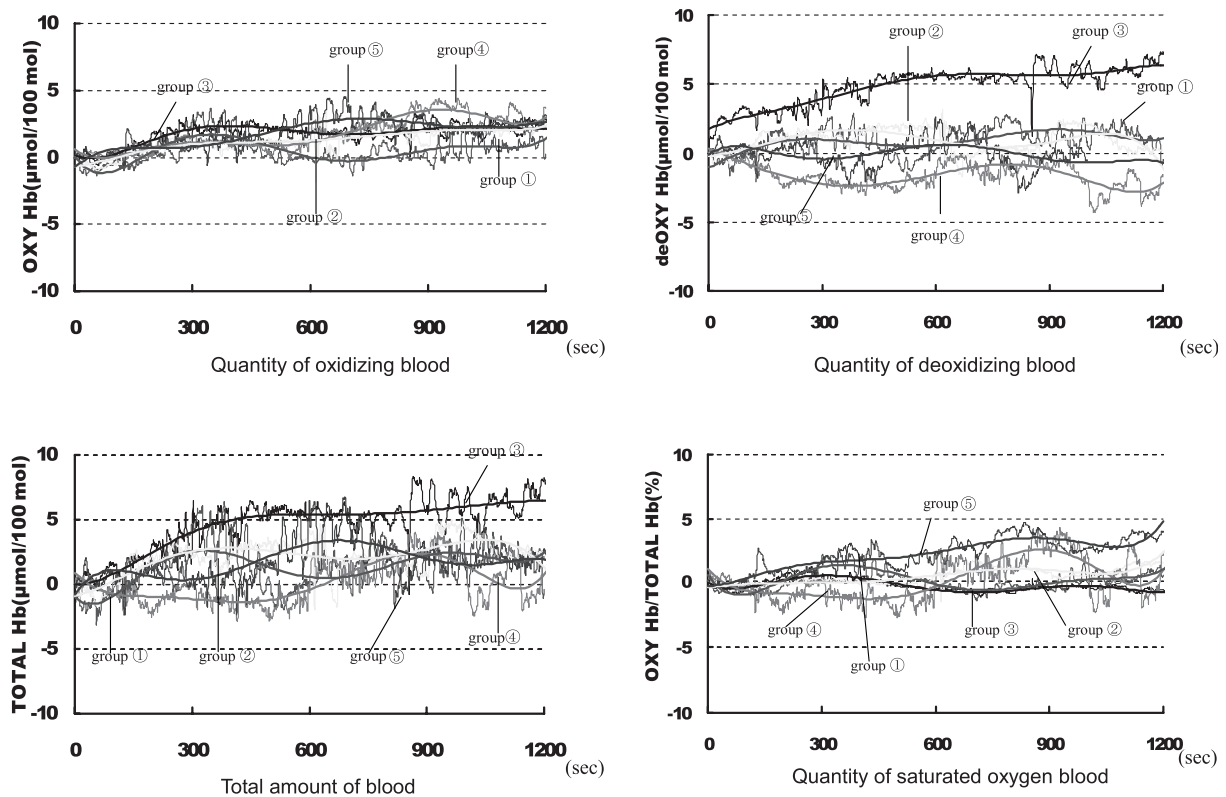


Fig. 3-a The quantity of blood flow in adult females fed the milled rice.
 group ① (milled rice – refining of seawater from deep-sea water origin)
 group ② (milled rice – magnesium chloride & calcium lactate solution)
 group ③ (milled rice – solution of Mineral treha)
 group ④ (milled rice – distilled water)
 group ⑤ (milled rice – trehalose solution)

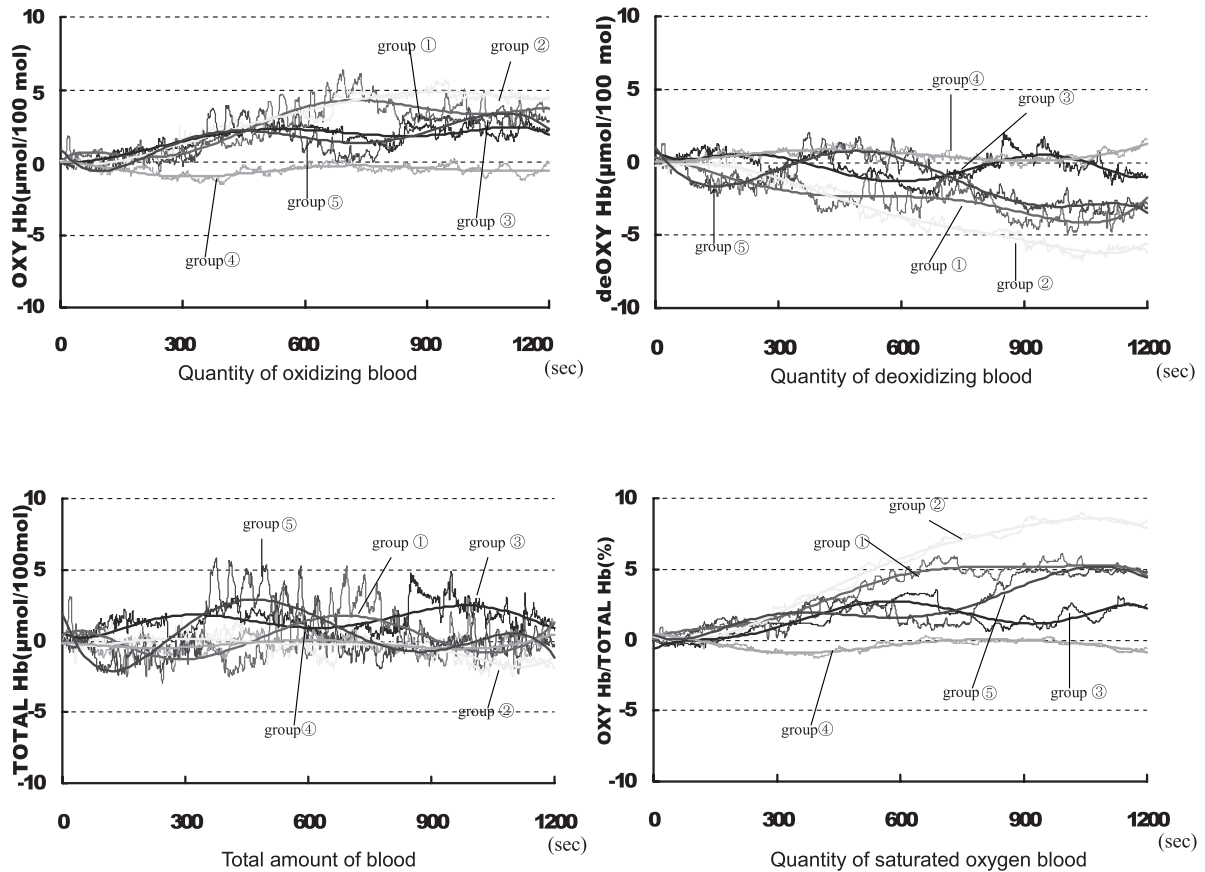


Fig. 3-b The quantity of blood flow in adult females fed the artificial – high fiver contained rice.
 group ① (artificial – high fiver contained rice – refining of seawater from deep-sea water origin)
 group ② (artificial – high fiver contained rice – magunesium chloride & calcium lactate solution)
 group ③ (artificial – high fiver contained rice – solution of Mineral treha)
 group ④ (artificial – high fiver contained rice – distilled water)
 group ⑤ (artificial – high fiver contained rice – trehalose solution)

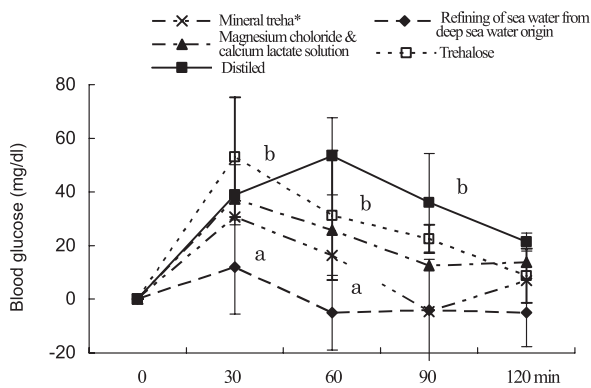


Fig. 4-a Changes of blood glucose levels in adult females fed the milled rice.
 Means \pm S. E. (n = 3-4).
 Mineral treha*: Solution of trehalose/refining of seawater from deep-seawater origin complex.
 a group ③ (milled rice – solution of Mineral treha) vs group ① (milled rice – refining of seawater from deep-sea water origin) $P < 0.05$
 b group ① (milled rice – refining of seawater from deep-sea water origin) vs group ② (milled rice – magunesium chloride & calcium lactate solution), group ④ (milled rice – distilled water) and group ⑤ (milled rice – trehalose solution) $P < 0.01$

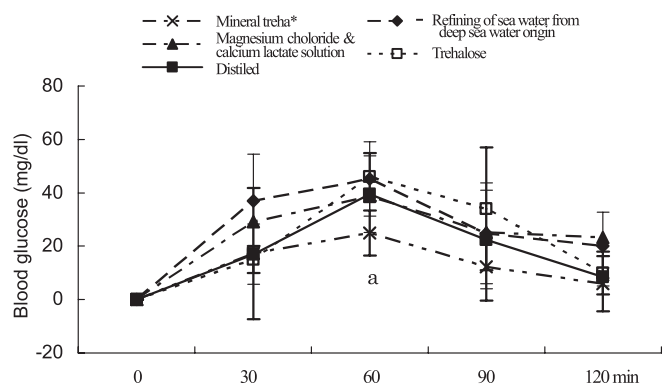


Fig. 4-b Changes of blood glucose levels in adult females fed the artificial – high fiver contained rice.
 Means \pm S. E. (n = 3-4).
 Mineral treha*: Solution of trehalose/refining of seawater from deep-seawater origin complex.
 a group ③ (artificial – high fiver contained rice – solution of Mineral treha) vs group ① (artificial – high fiver contained rice – refining of seawater from deep-sea water origin), group ② (artificial – high fiver contained rice – magunesium chloride & calcium lactate solution), group ④ (artificial – high fiver contained rice – distilled water) and group ⑤ (artificial – high fiver contained rice – trehalose solution) $P < 0.05$

Table 4 The hardness of food for individuals with mastication and swallowing difficulty

Samples	Gel hardness (N/m ²)	Cohesion	Viscosity(J/m ³)
Rice gruel (Gelatin)	10260	0.6909	99.80
Yuzu jelly* (Gelatin)	8257	0.8528	38.56
Bean cord of Chinese chive and sesame (Softia2)	4207	0.4880	110.50
Pumpkin jelly (Gelatin)	3480	0.8014	74.23
Tomato jelly (Softia2)	16030	0.5202	38.52
Tomato jelly (Gelatin)	2769	0.6232	45.89

*Jelly made from Yuzu, Japanese citron.

上げる（ゼラチンの配合量を増やす）必要がある。凝集性については、特にゆずゼリーとかぼちゃゼリーが高く、口腔内でのまとまりやすさ、誤嚥のしにくさと相関する。付着性はどのサンプルも低く、滑りが良く、咽頭残留しにくいことが考えられる。5℃で喫食する場合に、ゲル強度の調整が若干必要であるが、ソフトィアは温めても（60～65℃前後）ゲルを呈することから、常温での配膳であれば（温度が上げればゲル強度が下がるため）ソフトィアで作成したトマトゼリーは適している可能性がある。障害食は患者の嚥下レベルに合わせて通常、開始食（訓練食）から普通食移行までの5段階に分けられている。クライアントのそしゃく・えん下困難状況や病状により食品の強度、付着性、

凝集性についての個別対応が求められるが、作成したミネラルトレハ入りそしゃく・えん下困難者用食品（ゼリー状食品）6種類のテクスチャーを5段階レベルに外挿し、視覚的に示した（Fig. 5）。「テクスチャー」と「嚥下レベル」の関係については、基礎的研究や臨床研究の場においてさらなる検討が行われている。作成した食品は、食味テストでも、ミネラルトレハ添加群において評価が良く、ライストマトゼリーの舌ざわり、かぼちゃ豆乳ゼリーのおいしさおよび風味は有意に高い評価が得られた（Fig. 6）。

開発した、そしゃく・えん下困難者用食品の一つ、トマトを食材としたミネラルトレハ添加ゼリーについて、保水性を検討した。命の糖、修復の糖とも言われ、最近では臨床分野でも注目されているトレハロースは、食材の色彩保持や保水作用などが知られている。本実験で作成した食品は、肉眼的にも、食材の持つ色彩はいずれも保持されていた。トマトを食材としたミネラルトレハ添加ゼリー、砂糖添加ゼリーの解凍後の離水量を測定した（Fig. 7）。ミネラルトレハ添加群は砂糖添加群と比較して、離水量が少なく、形状を保持していた。また、室温25℃解凍3時間後では、砂糖添加群の表面がざらざらしていたのに対し、ミネラルトレハ添加群は表面が滑らかで視覚的にも良い状態を保っていた。また、ミネラルトレハを添加したトマトゼリーでは、砂糖を添加したものに比較して、有意に血糖低下が認められた（Fig. 8）。

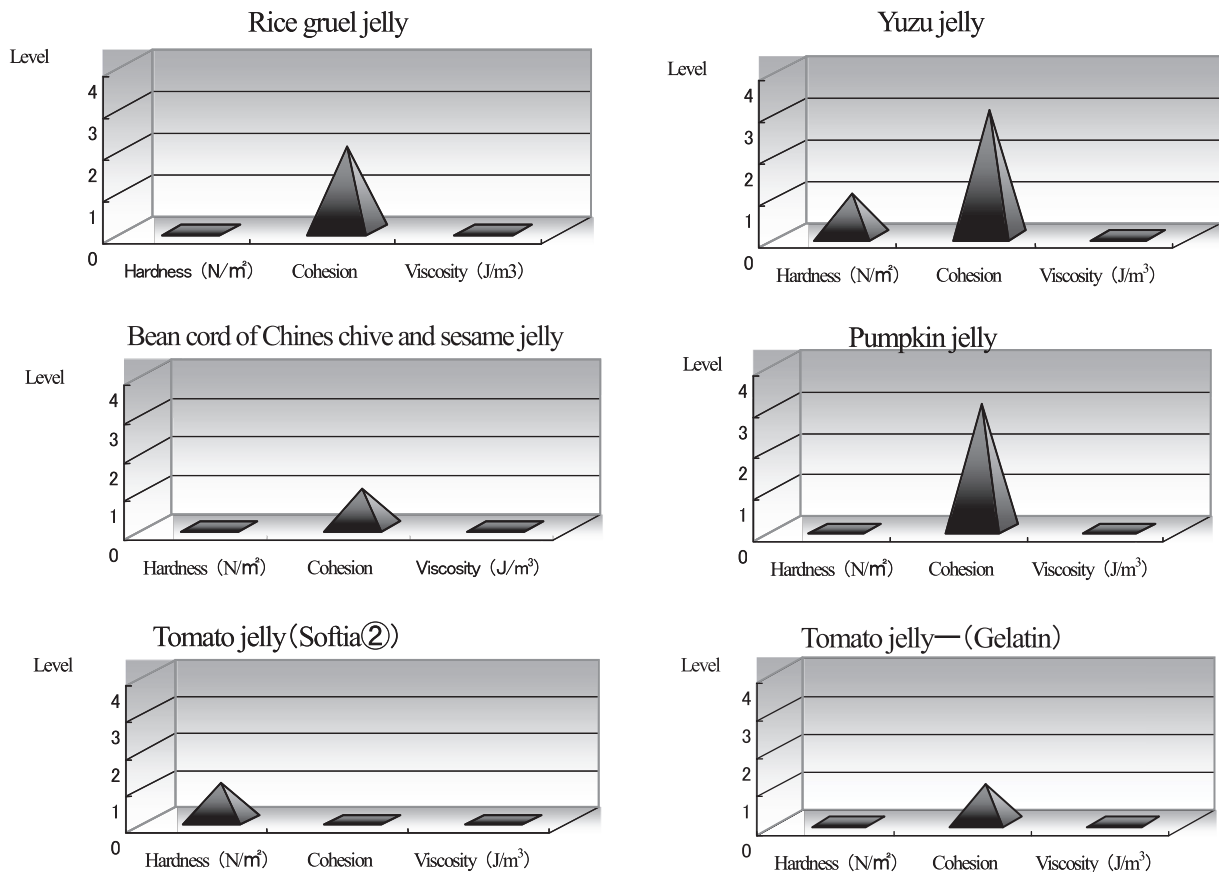


Fig. 5 The hardness levels of food for individuals with mastication and swallowing difficulty.

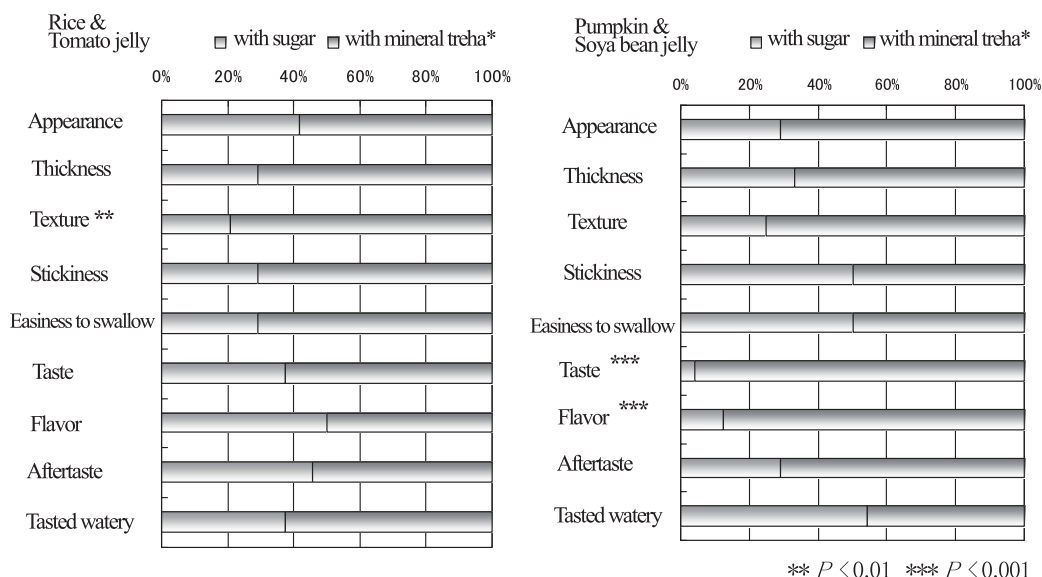


Fig. 6 Taste assessment of food for individuals with mastication and swallowing difficulty.
Mineral treha*: Solution of trehalose/refining of seawater from deep-sea water origin complex.

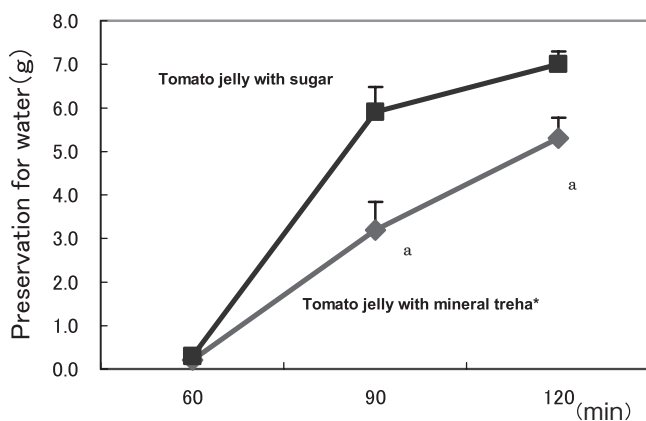


Fig. 7 Effect of preservation for water on individuals with mastication and swallowing difficulty.
Means \pm S. E. (n = 4-5).
Tomato jelly with mineral treha group vs tomato jelly with sugar group (a: $P < 0.05$).
Mineral treha*: Solution of trehalose/refining of seawater from deep-sea water origin complex.

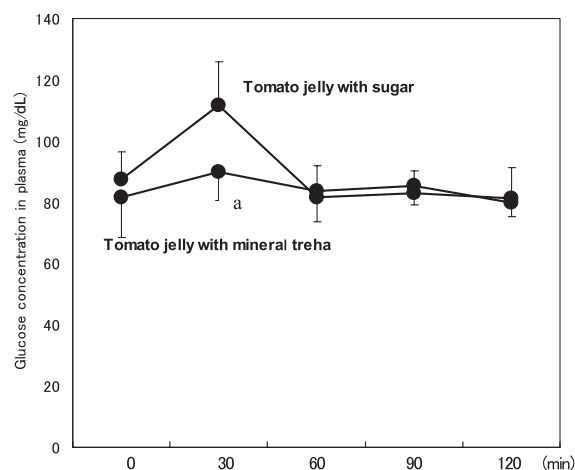


Fig. 8 Changes of blood glucose levels in adult females fed food for individuals with mastication and swallowing difficulty.
Means \pm S. E. (n = 3).
Tomato jelly with Mineral treha group vs tomato jelly with sugar group (a: $P < 0.05$).

以上示したように、Mg 欠乏時のミネラルトレハの負荷は血漿 Mg の回復に有効（マウス）であり、ミネラルトレハを添加した食品の摂取では血糖低下作用（ヒト）が認められた。

高齢者の嚥下困難に伴う低栄養（褥そう等）は、高齢社会を迎えたわが国で健康・医療・介護における大きな課題となっており、嚥下可能、栄養成分（ミネラル）の補給、味覚・視覚・嗅覚を意識した食欲の増進、機能性を考慮した、しかも地域の天然素材を活用したソフト食の開発の需要は着実に増大しているように思われる。海洋深層水から誕生した幅広い用途が考えられる粉末の新素材（ミネラルトレハ）の利用が期待される。

深層水の主要ミネラル以外の微量ミネラルが、新素材ミネラルトレハにも含まれている。この微量ミネラルがこれまでに分かっているミネラルトレハの特性にどの程度関与

しているのかについては今後の課題と考え、引き続き検討中である。

「本研究の一部は独立行政法人科学技術振興機構研究助成金（平成 19 年度研究成果実用化検討課題「室戸海洋深層水由来新素材ミネラルの特性を活用した高齢者向けソフト食の開発」）によるものである。」

謝 辞

本研究で用いた海洋深層水由来の海水（ミネラル調整液）およびその粉末（ミネラルトレハ）は、東レ株式会社、旭硝子株式会社、林原株式会社、高知県および高知女子大学の共同により開発されたものである。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 谷口道子 (2001), 海洋深層水について, 深層海水と健康研究会誌 1: 25-37.
- 2) 木村美恵子 (2001) 海のミネラルと健康, 深層海水と健康研究会誌 1: 63-71.
- 3) Kimura M (2007) Mineral in sea water and health. *Bio-med Res Elements* 18 (4): 336-345.
- 4) 糸川嘉則, 齋藤 昇 編者 (1995) マグネシウム 成人病との関係, 光生館, 東京.
- 5) 川村美笑子ら, 「ミネラル水の製造方法」(特開 2005-342664)
- 6) 川村美笑子ら, 「ミネラル含有剤とその用途」(特開 2005-343862)
- 7) 川村美笑子 (2007) 室戸海洋深層水-「水」から「粉」への開発とその視点, 「水の研究会報告書」, 独立行政法人水資源機構, 埼玉: pp. 417-444.
- 8) 厚生労働省 特別用途食品の許可基準等 そしゃく・えん下困難者用食品 <http://www.mhlw.go.jp/>
- 9) 坂井真奈美, 江頭文江, 金谷節子, 栢下 淳 (2007) 嚥下食ピラミッドに準拠した食事レシピ集, 臨床栄養 111(1)医歯薬出版, 東京. pp. 4-5.
- 10) Oku K, Kurose M, Kubota M, Fukuda S, Kurimoto M, Tujisaka Y, Sakurai M (2004) Interaction between trehalose and alkaline-earth metal ions. *Biosci Biotechnol Biochem* 69 (1): 7-12.