総　説

アルカリ性電解水の様々な効果
－溶存水素の影響を中心に－

清島大資[1)]*、寺山隼人[1,2)]*、田中喜典[1)]、永堀健太[1)]、鈴木恵[3,4)]、村田貴俊[5)]、上田容子[1)]、伊東佑太[6)]、田中とも子[7)]、戸髙恵美子[8)]、坂部貢[8,9)]、易勤[4)]、佐藤勉[1,8,10)]

*These authors contributed equally to this work

１）東海大学医学部医学科基礎医学系生体構造学
〒259-1193　神奈川県伊勢原市下糟屋143
２）千葉大学予防医学センター山田養蜂場・環境予防医学寄附研究部門
〒263-8522　千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33千葉大学工学系総合研究棟1-7階
３）日本歯科大学東京短期大学
〒162-0815　東京都新宿区筑土八幡町2-3
４）東京都立大学大学院人間健康科学研究科フロンティアヘルスサイエンス学域
〒116-8551　東京都荒川区東尾久7-2-10
５）鶴見大学歯学部
〒230-8501　神奈川県横浜市鶴見区鶴見2-1-3
６）名古屋学院大学リハビリテーション学部
〒456-0062　愛知県名古屋市熱田区大宝3-1-17
７）日本歯科大学生命歯学部
〒102-8159　東京都千代田区富士見1-9-20
８）千葉大学予防医学センター
〒263-8522　千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33千葉大学工学系総合研究棟1-7階
９）（一般財団法人）北里環境科学センター
〒252-0329　神奈川県相模原市南区北里1-15-1
10）（公益財団法人）ルイ・パストゥール医学研究センター
〒606-8225　京都府京都市左京区田中門前町103-5

（略題：アルカリ性電解水の様々な効果）

和文抄録

アルカリイオン整水器と称される家庭用電解水生成器を用いて、飲用適の水を電解する事で陰極側に得られる飲用アルカリ性電解水は、溶存水素を含有する弱アルカリ性（pH9～10）の水であり、飲用する事による胃腸症状の改善効果が確認されている。本稿では、水素の安全性、生体内動態、有力とされる作用機序ならびにアルカリ性電解水の健康影響について既報を概説した。水素は高い拡散性を有し、毒性や発癌性が確認されていない一方、生体内での活性酸素種の選択的消去やKeap1–Nrf2経路の活性化を介し、抗酸化・抗炎症作用を発揮すると考えられている。さらに水素を含むアルカリ性電解水の継続飲用は、胃粘膜保護、腸内環境改善、脂質過酸化低減などの効果が報告されており、溶存水素による酸化ストレス軽減が関与すると考えられる。

キーワード：機能水、アルカリ性電解水、水素、培養環境

受付：2026年７月30日　　採用：2026年９月10日
*対応責任著者
氏名：寺山隼人・清島大資
所属：東海大学医学部医学科基礎医学系生体構造学領域
住所：〒259-1193　神奈川県伊勢原市下糟屋143
電話番号：0463-93-1121
Ｅメールアドレス：terahaya@tokai.ac.jp・kiyoshima@tokai.ac.jp

Various Effects of Alkaline Electrolyzed Water: Focusing on the Influence of Hydrogen Molecule

Daisuke Kiyoshima[1)*], Hayato Terayama[1, 2)*], Yoshinori Tanaka[1)], Kenta Nagahori[1)], Megumi Suzuki[3, 4)], Takatoshi Murata[5)], Yoko Ueda[1)], Yuta Ito[6)], Tomoko Tanaka[7)], Emiko Todaka[8)], Kou Sakabe[8, 9)], Shuang-Qin Yi[4)], Tsutomu Sato[1, 8, 10)]

*These authors contributed equally to this work

1）Department of Anatomy, Tokai University School of Medicine
2）Department of Environmental Preventive Medicine（Yamada Bee Company, Inc.）, Center for Preventive Medical Sciences, Chiba University
3）The Nippon Dental University College at Tokyo
4）Department of Frontier Health Sciences, Graduate School of Human Health Sciences, Tokyo Metropolitan University
5）Tsurumi University School of Dental Medicine
6）Faculty of Rehabilitation Sciences, Nagoya Gakuin Universuty
7）The Nippon Dental University School of Life Dentistry at Tokyo
8）Center for Preventive Medical Sciences, Chiba University
9）Kitasato Research Center for Environmental Science
10）Louis Pasteur Center for Medical Research

英文抄録

Alkaline electrolyzed water（AEW）, obtained from the cathode side during water electrolysis, is weakly alkaline（pH　9–10）and contains dissolved molecular hydrogen; it has been approved as drinking water in Japan. This review summarizes previous findings on the safety, biodistribution, mechanisms of action, and health effects of molecular hydrogen and AEW. Molecular hydrogen exhibits high diffusibility and has been shown to lack toxicity or carcinogenicity. In vivo, it exerts antioxidant and anti-inflammatory effects through selective scavenging of reactive oxygen species and activation of the Keap 1–Nrf 2 signaling pathway. Continuous intake of AEW has been reported to confer protective effects on the gastric mucosa, improve intestinal conditions, and reduce lipid peroxidation in both animal and human studies. These effects are considered to be associated, at least in part, with the mitigation of oxidative stress mediated by dissolved hydrogen. AEW may therefore contribute to the maintenance of physiological homeostasis and the prevention of oxidative stress–related disorders.

英文キーワード：functional water, alkaline ionized water, hydrogen, culture environment

*Corresponding authors
Hayato Terayama・Daisuke Kiyoshima
Department of Anatomy, Division of Basic Medicine, Tokai University School of Medicine
143 Shimokasuya, Isehara-si, Kanagawa, 259-1193, Japan
Tel: +81-463-93-1121
E-mail: terahaya@tokai.ac.jp・kiyoshima@tokai.ac.jp

1．はじめに

水の電気分解にて得られる水の化学的特性は陽極側と陰極側では異なっている。前者ではpHが酸性を呈し溶存酸素濃度が増加しているのに対し、後者ではpHがアルカリ性に傾き原水にはほぼ存在しない水素が含有されるのが大きな特徴である。陰極側で得られる水は、一般的にアルカリ性電解水（Alkaline electrolyzed water：AEW）と呼ばれる。中でも飲用アルカリ性電解水（アルカリイオン水、電解水素水、還元水素水[1]などとも呼ばれる）は飲用適の水をJIS（日本工業規格；JIS T2004）に適合していることが認証された家庭用電解水生成器（アルカリイオン整水器）で電気分解し陰極側に生成される弱アルカリ性（pH９～10）の水で有り、飲用する事で胃腸症状の改善に有効であることが確認されている[2]。

2．水素の安全性と危険性

水素（分子状水素：H_2）は自然界に広く存在する一方、大気中の存在量は１ppm未満と報告されている[3]。また、分子量が極めて小さく極性を持たないため、親水性・疎水性を問わずあらゆる領域へ速やかに拡散する事ができる[3]。カーボンニュートラルの観点から、炭素を含まない水素は燃焼してもCO_2を生成しないエネルギー源として注目されており、近年では、米国航空宇宙局（NASA）やトヨタ自動車などにより、水素を燃料として利用する研究開発が進められている[4, 5]。一方、可燃性・爆発性を有する水素自身は危険視されることがある。水素の燃焼温度は約500℃以上と高いが、空気との混合における爆発限界は4～75vol%とされ、水素濃度がこの範囲に入らなければ、放電エネルギーがいかに大きくても着火しないとされる事もあり、水素濃度を4vol%以下に管理し、適切な取り扱いを行う事が広く求められている。物理的には、水素は空気より軽く、漏出時には速やかに拡散する。また、分子径が小さいため、ガラスや薄い金属などの固体材料を透過しやすく（ただし高圧ガスボンベ等の特殊な肉厚容器を除く）、都市ガスのように室内に滞留・蓄積する可能性は低いと考えられている。

水素の人体安全性については多くの報告があり、NASAは人体への毒性や発癌性が認められず、LD50を設定できないことを示している（NASA, NSS 1740.16）。なお国内では食品添加物として古くから用いられている。また、潜函病予防のため約50%の水素を含む混合ガスが使用されてきたが、健康被害は報告されていない[6]。一部の温泉では水素が検出されているものの、温泉における爆発事故や人体への有害影響は確認されていない[7]。

3．水素の吸収・分布・排出特性

哺乳類は典型的な水素代謝酵素であるhydrogenaseを有しておらず、水素をエネルギー源として利用することはできない[4]。しかしながら、水素は生理的条件下において体内に恒常的に微量に存在しており、その多くは腸内細菌叢による発酵過程を通じて１日に4～12Lも産生される。一般的な条件ではあるが、糖質１グラムを腸内細菌が消化・醗酵すると200～250mLのガスを産生し、約50mLの水素ガスが発生するといわれている[8]。また、大腸内視鏡前処置（食事制限、下剤服用など）を行う事により呼気中水素濃度が変動することや、胃内においても胃酸を介した化学反応により水素ガスが生成されることが示唆されている。これらの知見から、水素は消化管内で産生・代謝されつつ、生体内に取り込まれていると考えられている[9-11]。

水素を単回吸入させると、肺胞を介して速やかに吸収されて動脈に流れ、遅れて門脈を含めた静脈系で水素濃度が上昇し、最終的に血中水素は肺で排出されていると考えられる[12, 13]。一方、飽和水素水の飲用や腸内細菌により産生された水素は、主として門脈系を経由して循環し、肺から排出されると推測されており、動脈系への移行は限定的である可能性が高い[4]。このことから、水素ガス吸入と水素水摂取とでは、体内分布や効果発現部位が異なる可能性が示唆される。

吸入濃度に関しては、動物実験においておよそ２%前後の水素濃度で臓器障害の軽減や抗酸化

作用において最も高い効果が認められている。これに対し、１％未満あるいは３％以上では効果が相対的に低下する傾向が報告されており、水素の作用は一般的な薬物のような単純な濃度依存性を示さないと考えられている[14-16]。また、急性期病態においては、臓器障害の進展を抑制する観点から、より早期の投与が重要であるとされている[4]。

４．水素の生体に対する効果

2007年、生体内において水素が活性酸素種除去作用を有することが、本邦より報告された[14]。大澤らは、水素が示す弱い還元特性に注目し、その生体への影響について検討を行った。その結果、強い酸化ストレスを惹起する活性酸素種であるヒドロキシラジカル（・OH）およびペルオキシナイトライト（$ONOO^-$）が、水素の投与によって選択的に消去されることが明らかにされた。

これらの活性酸素種が過剰に産生される脳虚血再灌流障害モデルを用いた解析により、水素吸入が脳梗塞領域の縮小に寄与することが示された[14]。本報告を契機として、水素の生理作用に関する研究が活発化し、動物モデルにおいて多様な病態に対して有益な影響を示す可能性が相次いで報告されるようになった。心筋梗塞モデルにおいても、水素投与による組織傷害の軽減効果が確認されており[17]、加えて心停止後症候群モデルにおいても顕著な臓器保護作用が報告されている[15, 18]。これらの研究では、すでに冠状動静脈の循環が途絶した心筋領域においても水素の存在が確認されており、吸入された水素が臓器内に広範に分布することが示唆されている[17]。

すなわち、脳梗塞や心筋梗塞のように血流が遮断された領域においても水素は到達可能であり、血液脳関門、細胞膜、さらにはミトコンドリア膜を透過する高い拡散性が、病変部位への速やかな移行および効果発現に寄与していると考えられる。その後、水素の作用は、虚血再灌流障害、歯周炎の改善、メタボリックシンドローム、炎症性疾患、さらに癌を含む多様な疾病モデルにおいて検討され、一部ではヒトを対象とした臨床応用も進められている[19, 20]。ヒトを対象とした研究においては、脳梗塞、心筋梗塞、ならびに心停止後症候群に対する有効性を示唆する報告がなされている[21-23]。

５．水素による活性酸素除去作用の機序

生体内では、活性酸素種、とりわけフリーラジカルが呼吸鎖反応、貪食反応、プロスタグランジン合成、シトクロムP-450系、ならびにミトコンドリアにおけるATP産生過程の副産物として生成される。一方で、これらを防御する機構として、スーパーオキシドジスムターゼ（SOD）などの抗酸化酵素系が存在する。酸化系と抗酸化系の恒常性が破綻すると酸化ストレスが生じ、細胞障害や炎症反応を惹起することが知られている[24]。当初、水素による効果はフリーラジカルの直接的除去によるものと考えられていたが、水素の生理作用は、特定の分子に直接作用する単純な機構ではなく、複数のシグナル伝達経路を含む細胞内ネットワークの調節を介して発現すると考える研究者も多く[4]、近年ではKeap1–Nrf2経路の活性化が中心的な作用機序として注目されている[25]。細胞は酸化ストレスや親電子性物質に曝露されると、ヘムオキシゲナーゼ１（HO-1）などの抗酸化酵素群をコードする遺伝子群を誘導するが、その転写調節においてNrf2が重要な役割を担う。通常、Nrf2はKeap1と結合する事によって、常にユビキチン化してプロテアソームでの分解に導くため、Nrf2の量が細胞質に低く保持され核移行が抑制されているが、酸化ストレス条件下ではこの制御が解除され、Nrf2が核移行する事によって、抗酸化遺伝子の発現が促進される[4]。同様に、Keap1–Nrf2系はNrf2が核移行する事によって、免疫細胞においてインターロイキン６（IL-6）やインターロイキン１β（IL-1β）といった炎症性サイトカインの遺伝子発現を制御し、炎症反応を抑制することも示されている[26]。Nrf2はこのようなレドックス感受性転写因子（細胞内の酸化還元状態（レドックス状態）の変化を感知し、それに応じて遺伝子発現を調節する転写因子群）として、抗酸化および抗炎症応答の制御に寄与してお

り、水素はNrf2の活性化を介して抗炎症作用も発揮すると考えられている[4]。

実際に、水素は虚血再灌流障害、肺障害モデル、敗血症に伴う脳障害などにおいて保護的効果を示し、HO-1、SOD、カタラーゼといった下流エフェクターの活性化を伴う。これらの効果はNrf2ノックアウトマウスでは消失することから、Nrf2経路の関与が不可欠であることが示唆される。さらに、LPS誘導敗血症モデルにおいては、分子状水素の事前投与がHO-1誘導を促進し、生存率を改善する一方、発症後投与では十分な効果が得られないことが報告されている[27]。この一過性の活性酸素増加は、生体の適応応答を誘導する軽微な刺激（ストレス）であり、細胞障害や毒性を惹起しない安全な範囲内であることが確認されている。加えて、培養神経芽細胞を用いた検討では、水素がミトコンドリア由来の活性酸素種を一過性に増加させ、軽度の酸化刺激を介してNrf2系を活性化することが示されている[27]。このような作用様式から、水素はミトコンドリア機能に対してホルミシス効果（身体に有害な放射線や化学物質を少量受けることで、逆に免疫力向上、細胞活性化、抗酸化作用などの有益な生理反応が引き起こされる現象）を発揮し、細胞の防御機構を増強する可能性が示唆されている。

6．アルカリ性電解水の飲用効果

6-1．胃粘膜への影響

ストレスや体調の変化によって起こる胃酸の逆流や、胃粘膜の防御機能の低下などによる胃の不調に対して、AEWの飲用は胃の不快感をやわらげる効果が期待されている[28, 29]。通常、胃酸（pH1～2）は強酸性であり、AEW程度の弱アルカリ性で中和する事は難しい。しかし飲用時に食道から胃に至る経路に何らかの原因で付着した微量の胃酸を唾液のように中和しながら洗い流すことに有効である可能性があり、動物実験では、アスピリンなどの非ステロイド系抗炎症剤（NSAIDs）の長期服用が引き起こす胃粘膜障害（びらんや出血）に対して、アルカリ性電解水の併用飲用がその障害を抑制することが示されている[30]。これは、AEWが胃粘膜を保護する役割を果たしている可能性を示唆している。

6-2．腸内発酵への影響

一般的に善玉菌とされる腸内細菌は短鎖脂肪酸を産生する事で腸内を酸性環境に整え、アルカリ性を好む悪玉菌の増殖を抑制するとされているが、AEWは、胃腸内異常発酵の改善に有効であることが、複数の臨床試験により確認されている。腸内は嫌気性で酸素不要であり、微量の酸素があっても死滅する菌（ビフィズス菌など）も存在するため、近年は水素が酸化ストレス（活性酸素）を消去しビフィズス菌などが死滅せず増加したと考えられはじめた。ヒトを対象とした継続飲用試験では、腸内環境のバランスを整え、慢性的な下痢や便秘といった胃腸症状を改善する効果が報告されており[31-35]、AEWが腸内の水素濃度に影響を与え、特定の腸内細菌叢に間接的に作用している可能性が示唆されている。

6-3．骨形成への影響

AEWの飲用がヒトの骨形成に直接的に与える影響について、十分な臨床エビデンスは確立されていない。しかし、動物実験では、アルカリ性電解水の飲用が体内のカルシウム含有量や骨形成活性を高める可能性を示唆する報告がある[36, 37]。一方、骨の健康はカルシウムやビタミンDの摂取、運動、そして副甲状腺ホルモンなどのバランスによって維持されている。AEWに含まれるミネラル成分（カルシウム、マグネシウムなど）が、通常の水よりも吸収されやすい形で供給される可能性が示唆されているが[38, 39]、そのメカニズムやヒトへの応用については今後の研究結果が待たれる状況である。

6-4．脂質過酸化低減効果

AEWの効果要因として、生成過程で生じる「溶存水素」の抗酸化作用が注目されている。脂質過酸化は、体内の脂質が活性酸素によって酸化されることであり、生活習慣病や老化の原因となる[34]。機能水研究振興財団と岐阜大学の共同研究で

は、ラットに脂質を負荷した飼料を与えた実験において、AEWの飲用が血漿および肝臓の脂質過酸化度（TBARS値）を有意に低減させたことが報告されている[40]。特に脂質摂取レベルが高い条件下で、その低減効果が強く見られた。これは、AEWが体内の酸化ストレスを軽減する抗酸化物質として機能していることを示唆している[41-43]。

6－5．老化予防効果

AEW自体が直接的な「老化予防薬」として認証されているわけではないが、上記の抗酸化作用や脂質過酸化低減効果は、老化の基本的なメカニズムである「酸化ストレス」の軽減に繋がると考えられる。活性酸素による細胞損傷を減らすことは、結果的に細胞レベルでの老化速度を遅らせる可能性がある[44, 45]。現在、水素医学の分野で水素水の抗老化作用に関する研究が進んでおり、AEWに含まれる溶存水素も同様の効果を持つ可能性が期待されている[46, 47]。

6－6．培養細胞への影響

AEWや電解水が培養細胞に与える影響に関する研究は、基礎医学や安全性評価の観点から行われている。pH11以上の強アルカリ性の水は、タンパク質を変性させたり、細胞膜を損傷させたりする細胞毒性を示す可能性がある[34, 48]。一方で、飲用レベルのpH9～10程度のAEWを用いた培養実験では、特定の条件下で細胞の酸化ダメージを軽減したり、生存率に影響を与えなかったりといった結果が報告されている[49, 50]。これらの研究の多くは、過酸化水素などの酸化ストレス物質に対する保護効果を検証するものであり、AEWの機能性成分（溶存水素など）が細胞の防御機構に与える影響を調べている。我々はマウス筋芽細胞（C2C12細胞）を用いてAEWで調整した培地で５日間培養を行うと、筋芽細胞数が有意に増加した。しかしながら、Keap1-Nrf2系を含め、様々な酸化ストレス関連因子mRNAを調べた所、有意な変化は認められなかった事から、網羅的な遺伝子発現を現在検証している[24]。

7．まとめ

AEWはヒトへの多施設共同二重盲検無作為化比較試験を含む厳密な臨床試験が実施されてきた。研究の結果から１日500mlから１L程度のアルカリ性電解水（pH9～10程度を適値とする）を継続的に飲用することで、様々な胃腸症状の改善に有効であることが認められている。これらの研究成果は、主にAEWに含まれる豊富な溶存水素による作用と今のところは考えられており、検証が進められている（図１）。また、AEWではないが水素ガス吸入による心停止患者の救命効果について、多施設共同二重盲検無作為化比較試験結果が報告されている[51]。医療現場への完全な社会実装という意味では、その臨床応用はいまだ道半ばの段階にあり[4]、今後さらなる大規模かつ高品質な臨床エビデンスの構築が強く望まれる。

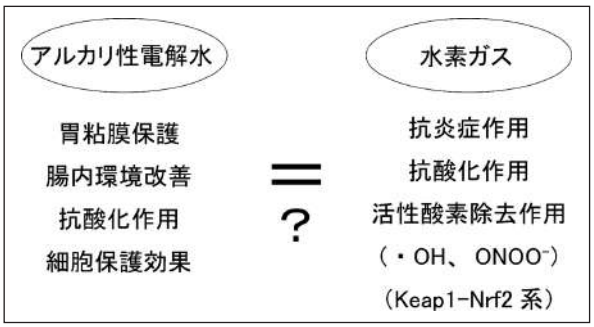

図１　アルカリ性電解水と水素の関係性

利益相反

本総説は株式会社山田養蜂場、一般財団法人機能水研究振興財団企画共同研究助成の補助を受けました。本稿の内容および結論に資金提供者の影響はありません。

謝辞

この度は、第32回および33回日本臨床環境医学会学術集会での発表において奨励賞を頂き深謝致します。本総説は第32回および33回日本臨床環境医学会学術集会の発表を踏まえ作成致しました。本発表は東海大学研究イノベーションセンター生命科学統合支援センターの技術職員の方々、東海

大学医学部医学科基礎医学系生体構造学の林省吾先生、隅山香織先生、飯島崇利先生、西巻和広先生、高木美穂様、千葉大学予防医学センターの櫻井健一先生（栄養代謝医学）、山本緑先生、江口哲史先生（環境健康学）、大森百合香様のご支援およびご協力によって行いました、深謝致します。なお、本総説は株式会社山田養蜂場、一般財団法人機能水研究振興財団企画共同研究助成の補助を受けました。この場をお借りして深謝致します。

参考文献

1）Tanaka Y, Saihara Y, et al.. Structure and function of alkaline ionized water apparatus. J Funct Water 12：29–34, 2017
2）厚生労働省.（医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律第二十三条の二の二十三第一項の規定により厚生労働大臣が基準を定めて指定する医療機器、2026.7.20）. mhlw.go.jp
3）大澤郁朗. 水素分子の生理作用と水素水による疾患防御. 日本老年医学会雑誌, 49（6）：680–688, 2012
4）鈴木 昌. 水素の臨床応用をめざして. Medical Gases 24： 7–12, 2022
5）山田 英助. 車両への液体水素の充填技術に関する調査. JARI Research Journal（12）：, 2021
6）Fontanari P, Badier M, et al. Changes in maximal performance of inspiratory and skeletal muscles during and after the 7.1-mpa hydra 10 record human dive. Eur J Appl Physiol 81：325–328, 2000
7）森本 卓也, 小島 英和, 他. 天然温泉における溶存水素（H２）. 温泉科学 64：296–309, 2014
8）Strocchi A, Levitt MD. Maintaining intestinal h2 balance: Credit the colonic bacteria. Gastroenterology 102：1424–1426, 1992
9）Pimentel M, Mathur R, et al. Gas and the microbiome. Curr Gastroenterol Rep 15：356, 2013
10）Urita Y, Hike K, et al. Hydrogen breath test as an indicator of the quality of colonic preparation for colonoscopy. Gastrointest Endosc 57：174–177, 2003
11）Sack DA, Stephensen CB, et al. Liberation of hydrogen from gastric acid following administration of oral magnesium. Dig Dis Sci 30：1127–1133, 1985
12）Sano M, Ichihara G, et al. Pharmacokinetics of a single inhalation of hydrogen gas in pigs. PLoS One 15：e0234626, 2020
13）Ichihara G, Katsumata Y, et al. Pharmacokinetics of hydrogen after ingesting a hydrogen-rich solution: A study in pigs. Heliyon 7：e08359, 2021
14）Ohsawa I, Ishikawa M, et al. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. Nat Med 13：688–694, 2007
15）Hayashida K, Sano M, et al. Hydrogen inhalation during normoxic resuscitation improves neurological outcome in a rat model of cardiac arrest independently of targeted temperature management. Circulation 130：2173–2180, 2014
16）Sato T, Mimuro S, et al. 1.2% Hydrogen gas inhalation protects the endothelial glycocalyx during hemorrhagic shock: a prospective laboratory study in rats. J Anesth 34：268–275, 2020
17）Hayashida K, Sano M, et al. Inhalation of hydrogen gas reduces infarct size in the rat model of myocardial ischemia-reperfusion injury. Biochem Biophys Res Commun 373：30–35, 2008
18）Hayashida K, Sano M, et al. H（2）gas improves functional outcome after cardiac arrest to an extent comparable to therapeutic hypothermia in a rat model. J

Am Heart Assoc 1：e003459，2012
19）Iida A, Nosaka N, et al. The clinical application of hydrogen as a medical treatment. Acta Med Okayama 70：331-337，2016
20）Kasuyama K, Tomofuji T, et al. Hydrogen-rich water attenuates experimental periodontitis in a rat model. J Clin Periodontol 38：1085-1090，2011
21）Katsumata Y, Sano F, et al. The effects of hydrogen gas inhalation on adverse left ventricular remodeling after percutaneous coronary intervention for st-elevated myocardial infarction-first pilot study in humans. Circ J 81：940-947，2017
22）Ono H, Nishijima Y, et al. Hydrogen gas inhalation treatment in acute cerebral infarction: A randomized controlled clinical study on safety and neuroprotection. J Stroke Cerebrovasc Dis 26：2587-2594，2017
23）Tamura T, Hayashida K, et al. Feasibility and safety of hydrogen gas inhalation for post-cardiac arrest syndrome- first-in-human pilot study. Circ J 80：1870-1873，2016
24）寺山 隼人，清島 大資，他．アルカリ性電解水を使用した粉末培養液が筋芽細胞培養に及ぼす影響．臨床環境医学会雑誌34，2，49-59．2025
25）Kawamura T, Wakabayashi N, et al. Hydrogen gas reduces hyperoxic lung injury via the nrf2 pathway in vivo. Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol 304：L646-656，2013
26）Kobayashi EH, Suzuki T, et al. Nrf2 suppresses macrophage inflammatory response by blocking proinflammatory cytokine transcription. Nat Commun 7：11624，2016
27）Murakami Y, Ito M, et al. Molecular hydrogen protects against oxidative stress-induced sh-sy5y neuroblastoma cell death through the process of mitohormesis. PLoS One 12：e0176992，2017
28）田代 博一．アルカリイオン水飲用による胃腸症状における臨床的検討-活性酸素への関与についての検討-．機能水の科学と利用技術，1999
29）Itoh T. Efficiency test on patients suffered from disorders in digestive tract by double blind control study on alkaline water and non-electrolyzed water. Journal of Functional Water 2：59，2007
30）東京都立衛生研究所．東京都立衛生研究所研究報告．機能水の安全性に関する研究，2003
31）田代 博一，北洞 哲治，他．慢性下痢に対するアルカリイオン水の有用性の臨床的検討：double blind placebo control study による．日本消化器病学会雑誌,23, 52-56，1996
32）Shirahata S, Kabayama S, et al. Electrolyzed-reduced water scavenges active oxygen species and protects DNA from oxidative damage. Biochem Biophys Res Commun 234：269-274，1997
33）内藤 裕二．腸内フローラへのアルカリイオン水の影響．食品ニューテクノロジー研究会セミナー資料（講演記録），2016
34）Itoh T. Effect of alkaline water on abnormal fermentation in intestinal tract in rats. Journal of Functional Water 2：59，2007
35）Lee MY, Kim YK, et al. Electrolyzed-reduced water protects against oxidative damage in the gastrointestinal tract. Appl Biol Chem 56：725-730，2013
36）Itoh T. Effect of alkaline water on calcium nutrition and osteogenesis in rats. Journal of Functional Water 2：59，2007
37）Kim MJ, Jung KH, et al. Effects of electrolyzed-reduced water on bone mineral density in ovariectomized rats.

Biol Trace Elem Res 144：215-224，2011
38）平野美由紀．アルカリイオン水のミネラル吸収性に及ぼす影響．日本家政学会誌，2004
39）大野 滋．アルカリイオン水が骨代謝に及ぼす影響について．第７回日本機能水学会学術大会講演要旨集，2008
40）早川 享志．アルカリイオン水の飲用と抗酸化力向上．機能水研究振興財団報告書，2009
41）Lee MY, Kim YK, et al. Electrolyzed-reduced water protects against oxidative damage to the liver. Biol Res 44：181-190, 2011
42）Li Y, Nakamichi N, et al. Suppressive effects of electrolyzed reduced water on compound 48/80-induced pruritus in mice. Biol Pharm Bull 31：19-23，2008
43）濱崎武記、片倉喜範，他．電解還元水による活性酸素消去機構の解析．第２回日本機能水学会学術大会講演要旨集，2003
44）Shirahata S, Kabayama S, et al. Active oxygen species and oxidation-reduction potential of electrolyzed oxidizing and reducing water. Cytotechnology 27：255-264，1998
45）Ohta S. Molecular hydrogen as a novel antioxidant: an overview of the benefits for medical and healthcare applications. Methods Enzymol 555：289-317，2015
46）中尾 篤典．長期飲用によるアルカリイオン水の抗老化作用に関する研究．機能水研究，Vol.4（1），32-37, 2005
47）Lee YK, Park SK, et al. Effect of electrolyzed reduced water on the lifespan of Caenorhabditis elegans. Biol Res 46：351-356，2013
48）大野 晴也，白畑 實隆，他．電解還元水の細胞レベルでの安全性評価．第２回日本機能水学会学術大会講演要旨集，2003
49）Ye J, Samaranayake LP, et al. In vitro effect of electrolyzed oxidizing water on Candida albicans. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 104：40-46，2007
50）Yan H, Hamasaki T, et al. Effects of electrolyzed oxidizing water on the viability of three kinds of human cells. J Health Sci 51：247-252，2005
51）Tamura T, Suzuki M, et al. Efficacy of inhaled hydrogen on neurological outcome following brain ischaemia during post-cardiac arrest care（HYBRID II）: a multi-centre, randomised, double-blind, placebo-controlled trial. EClinicalMedicine 58：101907, 2023