

SporTTTV：運動条件および個人特性に応じてパーソナライズされた栄養と甘味を提供するシステムを目指して

榎谷海斗^{†1} 田中涼^{†2} 山本貴之^{†2} 土屋瞳^{†2} 宮下芳明^{†1}

概要：運動後に必要な栄養量は、運動量や個人の状態によって異なる。また、栄養学的に決定された配合から生じる甘味が、個人の嗜好に合致するとは限らない。本研究では、運動後の栄養補給を支援するため、栄養メディアと味覚メディアを組み合わせた SporTTTV を提案する。本システムでは、栄養学の知見を参照する LLM を用いて、運動条件および個人特性に応じた糖質、タンパク質、ナトリウム、水分の目標量を算出する。さらに、回復栄養の目標量を制約として、基準となる甘味が不足する場合はキシリトールを加え、強すぎる場合は水分摂取の条件を満たす範囲で希釈することにより、甘味を個人の嗜好に応じて調整する。これにより、個人に適した栄養補給と、嗜好に応じた食体験の両立を目指す。

1. はじめに

アスリートにとって、適切な栄養摂取は運動能力の向上や疲労回復を実現する上で重要である。しかし、必要な栄養素の種類や摂取量は、運動内容、運動強度、個人の身体状態など多様な要因によって変化するため、その都度最適な栄養摂取を判断することは困難である。特に、運動直後には、筋肉への血流増加に伴って消化器官への血流が低下し、消化吸収能力の低下や食欲不振が生じる場合がある。

プロのアスリートは、専属の栄養士による食事計画の作成や体調管理の支援を受けることで、競技パフォーマンスの向上につながる栄養管理を実現している。一方で、一般のアスリートや学生アスリートが、運動内容や身体状態、さらに個人の嗜好まで考慮した詳細な栄養計画を自身で作成することは容易ではない。そのため、専門的な知識を持たないアスリートにとって、個人に適した栄養摂取を実現することは困難である。

一方で、ユーザの健康状態をもとに必要な栄養情報を提示する栄養メディア[1]が注目されている。栄養メディアは、栄養情報をデジタル情報として扱うことで、ユーザの身体状態や目的に応じた栄養管理を可能にする技術である。これにより、従来は専門家の経験や知識に依存していた栄養管理を、個人の状態に応じて提供できる可能性がある。

また、本稿最終著者は、食の再構築[2]を目指し味覚メディア[3]を推進してきた。味覚メディアは、味をデジタル情報として記録、伝達、提示する技術であり、ユーザの嗜好に応じた味覚体験を提供することが可能である。栄養メディアによる個人に適した栄養設計と、味覚メディアによる嗜好に応じた味覚提示を組み合わせることで、必要な栄養素を摂取しながら、食事における楽しさや満足感を維持できる可能性がある。しかし、栄養メディアと味覚メディアを単純に組み合わせるだけでは、栄養量と味覚上の嗜好を独立に扱えるとは限らない。例えば、運動後に必要な糖質

量に基づいてグルコース量を決定すると、その配合がもつ甘味も同時に決まる。この甘味がユーザの嗜好より弱い、または強い場合に、グルコース量そのものを変更すると、栄養学的に決定された糖質量も変化してしまう。したがって、必要な栄養量を維持しながら、配合から生じる甘味を調整する仕組みが必要となる。

本研究では、栄養メディアをスポーツ栄養学へと拡張し、運動後の栄養補給を支援する SporTTTV (SporT, Tailored Taste, and Variable nutrient amounts) を提案する。提案システムでは、栄養学的知見を参照する LLM (Large Language Model) を用いて、運動内容や個人属性に基づき、糖質、タンパク質、ナトリウム、水分の目標量を算出する。さらに、回復栄養の目標量を制約として、基準となる甘味が不足する場合はキシリトールを加え、強すぎる場合は水分摂取の条件を満たす範囲で希釈することで、甘味をユーザの嗜好に応じて調整する。本研究の主な新規性は、個人に必要な栄養量を算出するだけでなくその栄養目標を維持したまま甘味強度を個人の嗜好に応じて調整する点にある。

2. 関連研究

2.1 栄養メディア

栄養メディアとは、栄養情報をデジタル情報として扱い、ユーザの状態や目的に応じた栄養管理を可能にする技術である。栄養メディアに関する研究として、日常的な食事管理や健康維持を目的として、個人の摂取状況に基づいて不足している栄養を提示する手法がある。NutriSynth[1]は、一日の食事画像から不足している栄養成分を推定し、ビタミンやミネラルなどの不足成分を補充するデバイスである。NutriSynth は、食事内容の解析と栄養の提示を組み合わせることで、ユーザごとの異なる栄養状態に応じた支援を実現している。本研究では、栄養メディアをスポーツ栄養学へと拡張し、運動条件や個人属性に基づいて必要な栄養量を算出するシステムを提案する。

^{†1} 明治大学

^{†2} 森永製菓株式会社

2.2 味覚メディア

味覚メディアとは、味覚をデジタル情報として扱い、記録、伝達、提示することで、従来の食体験を拡張する技術である。代表的な研究として、基本五味である甘味、塩味、酸味、苦味、旨味を含む複数の液体を組み合わせることで、任意の味を再現する TTTV (Taste the TV) シリーズが提案されている[4-8]。TTTV シリーズでは、味覚情報を制御可能な情報として扱うことで、場所や環境の制約を受けずにユーザが望む味を生成することを可能としている。

さらに、粉末を混合して味の出力を行う PTTV が提案されている[9]。このような味覚メディアの技術は、ユーザの嗜好に応じた食体験を提供する上で有用である。

2.3 スポーツ栄養学の知見

スポーツ栄養学では、運動能力の維持や向上、疲労回復を目的として、運動後における適切な栄養摂取が重要視されている[10]。

スポーツ現場では、栄養補給を支援する仕組みとしてサプリメントサーバーが利用されている[11]。サプリメントサーバーは、フィットネスジムなどに設置され、利用者が操作することでプロテインやドリンクなどのサプリメントを自動的に提供するシステムである。

本研究では、スポーツ栄養学の知見に基づき、運動内容や個人属性から必要な糖質、タンパク質、ナトリウム、水分の量を算出し、個人に適した栄養補給を実現するシステムを提案する。

3. 提案システム

3.1 システム概要

本研究では、運動データおよび個人特性に基づき、運動後の栄養補給を支援するシステム SporTTTV (SporT, Tailored Taste, and Variable nutrient amounts) を提案する。本システムでは、栄養学の知見を参照する LLM を用いて、糖質、タンパク質、ナトリウム、水分の補給目標量を算出し、その結果に基づく栄養補給をデバイスにより提供する。さらに、算出された栄養目標を維持したまま飲料の甘味強度を増減させ、ユーザの嗜好に応じた甘味を提示する。このように、栄養学的に決定された補給目標を制約として保持しつつ甘味を個人化することで、個人に適した栄養補給と運動後の摂取しやすさの両立を目指す。

3.2 栄養算出の仕組み

様々な運動条件を想定するために、栄養算入の入力値として用いる運動データには、Google Health API から取得した各種データを利用する。具体的には、運動強度を表す指標として、exercise データ型に含まれる moderateTime (中強度運動時間)、vigorousTime (高強度運動時間)、peakTime (ピーク強度運動時間) を、運動時間として exercise データ型の activeDuration を、消費エネルギーとして ActiveEnergyBurned データ型の kcal を、体重として

weight データ型の weightGram をそれぞれ取得する。

moderateTime, vigorousTime, peakTime は、ウェアラブル端末が測定した心拍数を強度ゾーンへ分類し、各ゾーンに滞在した時間を積算した値であり、いずれも分単位で扱う。同一の運動時間および消費エネルギーであっても、これらの内訳が異なれば運動の性質は大きく異なる。

LLM に入力するプロンプトは、運動データから運動後の糖質、タンパク質、ナトリウム、水分の推奨量を算出するために、ルイーザ・パークらの「スポーツ栄養学」[10]を主要な学術的根拠として設計したものである。開発の初期段階では、まず LLM が持つ一般的なスポーツ栄養学の知識だけを用いる単純なプロンプトを作成した。しかし、この方法では、同じ運動データを入力しても、実行ごとに参照する基準や計算過程が変化し、推奨量が大きく変動する場合があった。また、短時間の運動に対して過剰な補給量を示したり、反対に一定以上の運動でなければすべての栄養素をゼロとしたりするなど、ばらつきが大きくみられた。

次に、「スポーツ栄養学」の内容を知識として与え、同書に基づいて推論させる方法を試した。これにより、糖質補給、再水和、電解質補給、タンパク質摂取に関する説明の専門性は向上したものの、数値の決定方法までは安定しなかった。同書には、運動後の回復に関する目標、推奨範囲、摂取時期、個別化の考え方が詳しく示されている一方、Google Health API から得られる 6 つの値を直接四つの栄養素量へ変換する単一の計算式は掲載されていない。そのため、単に知識を追加するだけでは、モデルが不足情報を実行ごとに異なる仮定で補い、推奨範囲のどの値を採用するかも変わるという問題が残った。

そこで最終的には、同書の内容を自由に解釈させるのではなく、同書が示す回復栄養の原則を、入力値の処理順序、使用方法、上限、下限、丸め方まで固定した判定手順へ落とし込んだ。「スポーツ栄養学」では、運動後の回復を単なる消費カロリーの補填ではなく、筋グリコーゲンの回復、体水分と電解質の回復、筋タンパク質の修復と適応という複数の課題として捉えている。また、必要な回復戦略は一律ではなく、そのセッションで生じた発汗、筋エネルギーの消費、筋損傷、タンパク質合成への刺激、次の練習までの時間などによって変える必要があるとされている。

入力値の扱いについては、活動時間、活動エネルギー、体重を補給量の基本的な規模を決める情報とし、中強度、高強度、ピーク強度の心拍ゾーン時間を運動強度の推定に用いた。ウェアラブル端末が出力した活動エネルギーは、実際に与えられた測定値としてそのまま使用し、別途作成した心拍数由来の推定値で上書きしない。これは、根拠の異なる二つの推定値を混在させることで、入力された消費エネルギーが不必要に減少または増加することを防ぐためである。

また、心拍ゾーン時間の合計が活動時間より短い場合、

残りの時間を自動的に低強度運動とはみなさない。未分類時間には、低強度運動だけでなく、心拍センサーの欠測、装着状態、記録開始時刻のずれなどが含まれる可能性があるためである。そこで、心拍ゾーンが十分に記録されているセッションでは心拍情報を強く反映し、記録割合が低い場合には活動時間と活動エネルギーを相対的に重視する構成とした。さらに、一定の基準を下回った場合に四栄養素を一括してゼロにする判定は採用せず、短い運動には少量、長時間または高強度の運動にはより多い量が連続的に算出されるようにした。

なお、本システムが算出する各量は、栄養素の欠乏または過剰摂取を判定するための閾値ではなく、運動後の回復を支援するための基準量である。糖質およびタンパク質は運動終了後最初の補食に含める目標量、水分はその後数時間を含む総摂取目標量、ナトリウムは同期間に飲料および食事から補給する目標量として扱う。特に水分およびナトリウムは実際の発汗損失量を直接測定していないため、不確実性を含む推定値である。

3.2.1 糖質

糖質は、運動で消費されたエネルギーと強度から、糖質への依存度が高い運動ほど回復量が増えるように設計した。ただし、出力値は失われた糖質の完全な補填量ではなく、運動終了後最初の食事または補食に含める量である。「スポーツ栄養学」では、運動後早期はグリコーゲン回復が進みやすく、次の運動までの時間が短い場合には、体重を基準とした糖質を少量ずつ繰り返し摂取する考え方が示されている。そこで、初回摂取量と、その後数時間にわたる迅速回復用の継続摂取を分け、一度に過大な量を提示しない構成とした。

3.2.2 タンパク質

タンパク質は、体重を基本としつつ、活動時間と活動エネルギーから、そのセッションが回復用タンパク質を必要とする程度を調整する。短時間の軽い活動に対して常に一定量を与えるのではなく、運動負荷が大きくなるほど標準的な運動後摂取量に近づける設計である。同書でも、高強度運動、レジスタンストレーニング、筋損傷を伴う主要な練習後には積極的な摂取が適する一方、軽度の練習では追加摂取の必要性が低い場合があると整理されている。

3.2.3 水分とナトリウム

水分とナトリウムについては、6つの入力だけでは実際の損失量を正確に求められないことを前提とした。本来は、運動前後の体重差、運動中の飲水量、気温、湿度、衣服、暑熱順化、個人の汗中ナトリウム濃度が必要である。そのため、活動エネルギーと強度から発汗量を保守的に推定し、水分は運動後数時間に分けて摂る量、ナトリウムは飲料と食事を合わせた量として算出する。推定値には体重に応じた上限を設け、短い運動後にも現実に提供可能な少量の飲料が残るよう最小量を設定した。ナトリウムは、水分だけ

を摂るよりも体液保持を助け、尿として失われる水分を抑えるという同書の知見を根拠としている。ただし個人の汗分析がないため、水分とナトリウムは常に低確度の推定値であることも出力に明記する。

以上のように、本プロンプトは、書籍「スポーツ栄養学」が示す推奨範囲を中核に据えたうえで、使用する入力値、欠測時間の扱い、各栄養素の対象時間、実用上の上下限、最終的な丸め単位を固定したものである。これにより、言語モデルが実行のたびに異なる基準を選択したり、不足情報を恣意的に補ったりする余地を縮小し、同一の運動データを可能な限り一貫した手順で処理することを目指した。

3.3 甘味のパーソナライゼーション

本システムでは、運動条件および個人特性から算出されたグルコース量に応じて、提供する飲料に甘味が生じる。しかし、この甘味は栄養学的に必要な量から決定される一方、ユーザが好む甘味強度には個人差があるため、両者が一致するとは限らない。

そこで、基準となる甘味がユーザの嗜好に合致しないときは、甘味が不足する場合はキシリトールを加え、強すぎる場合は水分摂取の条件を満たす範囲で水を加えて希釈する。これにより、回復用として算出されたグルコース、タンパク質およびナトリウムの量を維持しながら、甘味強度を個人の嗜好に応じて調整する。

もちろんこの方法で全ての嗜好に対応できるわけではない。グルコース自体が甘味を有する以上、グルコース量を維持したまま甘味を完全にゼロにすることはできない。水分添加によって甘味を減弱することは可能であるが、飲料容量および安全な水分摂取量の制約があるため、本システムが提示可能な甘味には下限が存在する。したがって、無味または極端に弱い甘味を好むユーザには対応できない場合がある。

3.4 ハードウェア構成

デバイスには、粉末を適量出力する PTTV[9]の機構を流用する。ソフトウェアで算出した栄養計算の結果をデバイスに送信し、デバイスがその値に応じて各成分を適量出力する仕組みである。出力する成分は、糖質をグルコース（ブドウ糖）、タンパク質をプロテインパウダー、ナトリウムを食塩（塩化ナトリウム）として、いずれも粉末の形で出力する。

4. 栄養算出の検証

4.1 入力データの詳細と結果

著者らは実際の使用場面を想定して、6つの入力データを作成した。その入力値を表1に示す。条件1は短時間×低強度、条件2は短時間×高強度、条件3は中時間×低強度、条件4は中時間×高強度、条件5は長時間×低強度、条件6は長時間×高強度を想定している。これら6つの入力データを GPT 5.6 Sol[12]に入力し、出力結果を得た。その出力

表 1 Google Health API から得られる 6 つの入力値

入力条件	体重 (kg)	運動時間 (分)	中強度時間 (分)	高強度時間 (分)	ピーク強度時間 (分)	消費エネルギー (kcal)
条件1 (短時間×低強度)	50	15	5	1.7	0	95
条件2 (短時間×高強度)	72	20	2.5	7.5	5	180
条件3 (中時間×低強度)	62	60	36.7	8.3	0	380
条件4 (中時間×高強度)	85	45	9	21	9	410
条件5 (長時間×低強度)	80	90	50	10.8	1	570
条件6 (長時間×高強度)	65	120	25	45	25	1080

表 2 LLM による入出力結果 (3 試行とも同一の値)

入力条件	糖質 (g)	ナトリウム (mg)	水分 (ml)	タンパク質 (g)
条件1 (短時間×低強度)	10	100	250	15
条件2 (短時間×高強度)	25	200	300	22
条件3 (中時間×低強度)	40	450	650	19
条件4 (中時間×高強度)	50	500	700	26
条件5 (長時間×低強度)	60	650	950	24
条件6 (長時間×高強度)	65	1300	2100	20

結果を表 2 に示す。体重は 50 kg (条件 1) から 85 kg (条件 4) まで範囲で与えた。GPT 5.6 Sol の reasoning effort (応答性能) は「非常に高い」に設定した。

6 つの条件では運動時間と運動強度の組み合わせが異なる。条件 1 は活動時間 15 分、消費エネルギー 95 kcal であり、心拍数ゾーンの内訳は中強度 5.0 分・高強度 1.7 分・ピーク強度 0 分で、活動時間に占める高強度以上の割合は 11.3% であった。条件 2 は活動時間 20 分と条件 1 と同程度の長さでありながら、中強度 2.5 分・高強度 7.5 分・ピーク強度 5.0 分と高強度以上が 62.5% を占め、消費エネルギーは 180 kcal であった。条件 3 は活動時間 60 分、消費エネルギー 380 kcal で、その大半 (36.7 分) が中強度ゾーンに留まり、ピーク強度は 0 分であった。条件 4 は活動時間 45 分、消費エネルギー 410 kcal であり、高強度 21.0 分・ピーク強度 9.0 分と高強度以上が 66.7% に達した。条件 5 は活動時間 90 分と最長の部類でありながら、中強度が 50.0 分を占め、ピーク強度は 1.0 分にとどまり、消費エネルギーは 570 kcal であった。条件 6 は活動時間 120 分、消費エネルギー 1,080 kcal で、高強度 45.0 分・ピーク強度 25.0 分と、6 件中で最も長時間かつ高強度な運動を表す。

本手法の出力安定性を検証するため、同一の入力データおよび同一のプロンプトを用いて出力を 3 回取得し、その結果を比較した。結果を表 2 に示す。その結果、3 回の試行を通じて出力値に変動は一切認められなかった (表 2)。

4.2 考察

同一の入力データおよび同一のプロンプトを用いて出力を 3 回取得したところ、いずれの条件においても 3 回の試行を通じて出力値に変動は認められなかった。このことから、本手法は同一条件下において再現性のある出力を返すといえる。これは、「スポーツ栄養学」[10] が示す回復栄養の原則を、入力値の処理順序、使用方法、上限、下限、丸め方まで固定した判定手順として明示的に記述し、栄養

量の算出基準をプロンプト内に定めたことによると考えられる。すなわち、LLM が実行のたびに参照する基準を選択したり、不足する情報を異なる仮定で補ったりする余地を縮小したことが、試行間のばらつきの抑制に寄与したと考えられる。

糖質については、この傾向はスポーツ栄養学の知見と整合する。運動強度が高いほど骨格筋のエネルギー供給における糖質への依存度が高まり、筋グリコーゲンの枯渇量が大きくなる。また、運動時間が長いほど累積的なエネルギー消費量も増大する。したがって、運動後の回復に必要な糖質量は、運動が長時間かつ高強度になるほど大きくなると考えられ、本システムの出力はこの生理学的機序を反映しているといえる。反対に、短時間かつ低強度の運動ではエネルギー消費量が小さく、筋グリコーゲンの減少も限定的であるため、補給量が少量にとどまることは妥当である。

水分およびナトリウムについても、同様の解釈が可能である。運動に伴う代謝熱の産生量は運動強度と運動時間の増大に伴って増加し、その放散のために発汗量が増大する。発汗によって体水分が失われると同時に、汗に含まれるナトリウムが体外へ排出されるため、体内のナトリウム総量も減少する。すなわち、長時間かつ高強度の運動ほど体水分とナトリウムの損失が大きくなり、運動後に補給すべき量が増加する。本システムにおいて、条件 6 のような長時間・高強度の運動に対して最も多い水分およびナトリウムが算出され、条件 1 のような短時間・低強度の運動に対して最小限の量が算出されたことは、この機序と一致する。

また、3.2 節で述べたとおり、本手法では一定の基準を下回った場合に栄養素を一括してゼロとする判定を採用せず、運動負荷に応じて連続的に算出される構成としたが、表 2 の結果はこの設計意図が出力に反映されていることを示している。

また、得られた出力値は、運動後の 1 回あたりの補給量として妥当な範囲にあると考えられる。特にタンパク質については、いずれの試行においても 15~26 g の範囲で安定した値が返されており、運動後の筋タンパク質合成を目的とした一般的な推奨量と整合する結果であった。パークらの「スポーツ栄養学」の内容をモデルに組み込むことができたと考えられる。

また、本手法では、パークらの「スポーツ栄養学」[10]の知見をモデル化したことにより、算出根拠を明確にし検証可能性を高めたといえる。LLMの一般的な推論を用いる場合、中身がブラックボックスという課題があったが、本システムでは中身の仕組みが理解しやすい利点があると考えられる。

出力値のばらつきが小さく、安定した結果を出すという観点では、一般的なスポーツ栄養学の知見から推論を行うLLMと比較して、妥当性があると考えられる。ただし、本検証における試行回数は同一入力・同一プロンプトに対して3回にとどまるため、試行回数を増やした場合にも同様の安定性が保たれるかは明らかでない。この点は今後の課題である。

5. 展望

Google Health APIでは多数のパラメータを取得することが可能であるが、本研究ではそのうち6種類のパラメータのみを入力値として用いた。また、出力する成分も糖質、タンパク質、ナトリウム、水分の4種類に絞っている。今後は入力に用いるパラメータおよび出力する栄養素の種類を増やし、より高度な調査を実現していきたい。

また、本研究では算出の再現性と検証容易性を確保するため、決定論的な計算式に基づく手法を採用した。しかし、実際のサポートの現場では、画一的な数式に従って摂取量を決定しているわけではなく、個々の競技特性、コンディション、嗜好、これまでの経過といった多様な文脈を統合的に解釈したうえで判断を下している。こうした文脈依存的な判断を計算式のみで表現することには限界があるため、今後はLLMを中核に据えた手法へと発展させ、数値の算出のみならず、その根拠の説明や個々の状況に応じた柔軟な調整を可能にしたい。その際、本研究で構築した計算モデルは、LLMの出力が生理学的に妥当な範囲に収まっていることを担保する基盤として位置づけ、両者を組み合わせることで信頼性と柔軟性の両立を図る。

さらに、一般のアスリートにとって、栄養面のみならず感情面やストレスも含めたサポートは不可欠である。今後は、栄養面の算出にとどまらず、対話を通じた質問への応答や、感情面・ストレス面への配慮といった要素も考慮したシステムへと発展させていきたい。最終的には、ユーザーに寄り添い、細やかに継続的な支援を行う存在の実現によって、一般のアスリートや学生アスリートであっても、個別最適化したサポートを受けることができる体制を目指し、本研究をその基盤として改良を重ねていく。

謝辞 スポーツ栄養学の知見の提供にご協力頂いた森永製菓 in トレーニングラボの三好友香様、井上毅彦様に謹んで感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 松島陽也, 千田知佳, 小平乙寧, 長谷川紗智, 飯塚奈夏, 齋藤詞音, 遠藤雅大, 堤賢太, 田崎秀征, 宮本靖久, 細田奈央子, 宮下芳明: NutriSynth: 栄養素を添加する「栄養メディア」の提案とパーソナライズされた補完への応用, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2025 論文集, Vol. 2025, pp. 434-439, 2025.
- [2] 宮下芳明. 味覚・嗅覚・栄養のメディア化による食の再構築. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2025 論文集, Vol.2025, pp.143-148, 2025.
- [3] Homei Miyashita: Taste Media: Innovative Technology Transforms the Eating Experience, International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence, Springer, pp. 8–16, 2024.
- [4] Homei Miyashita: TTTV (taste the TV): Taste presentation display for “licking the screen” using a rolling transparent sheet and a mixture of liquid sprays, Adjunct Proceedings of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 37–40, 2021.
- [5] Homei Miyashita: TTTV2 (Transform the Taste and Visual Appearance): Tele-eat virtually with a seasoning home appliance that changes the taste and appearance of food or beverages, Proceedings of the 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, pp. 1–2, 2022.
- [6] 宮下芳明, 村上崇斗, 大友千宙, 深池美玖: TTTV3 (Transform The Taste and reproduce Varieties): 産地や品種の違いも再現する調味機構と LLM による味覚表現, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, Vol. 2023, pp. 236-243, 2023.
- [7] 笠原暢仁, 深池美玖, 宮下芳明: TTTV4: 一口ごとに味を提示する味覚のパーソナルメディア, 第 32 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2024) 予稿集, pp. 1-6, 2024.
- [8] Nobuhito Kasahara, Miku Fukaike, and Homei Miyashita. TTTV4: Cutlery-Type Taste Display Toward Personal Taste Media. In Adjunct Proceedings of the 38th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST Adjunct '25). Association for Computing Machinery, pp.1-3, 2025.
- [9] 千田知佳, 宮下芳明: PTTV: 粉末混合式の味ディスプレイ, 第 32 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2024) 予稿集, pp. 1-3, 2024.
- [10] ルイーズ・パーク (編著), ヴィッキー・ディーキン (編著), 独立行政法人日本スポーツ振興センター ハイパフォーマンススポーツセンター, 国立スポーツ科学センター (監修), 亀井明子 (監訳), 高橋英幸 (監訳): スポーツ栄養学—スポーツ現場を支える科学的データ・理論, 大修館書店, 2023.
- [11] 森永製菓株式会社: ウイダー高機能プロテインサーバー. <https://www.morinaga.co.jp/proteinserver/>. 最終アクセス:2026 年 6 月 30 日.
- [12] GPT-5.6: 目標に合わせて拡張するフロンティアインテリジェン, <https://openai.com/index/gpt-5-6/> (2026). 最終アクセス:2026 年 7 月 16 日