

刺激により唾液分泌量増加を促す 顎下部装着型ウェアラブルデバイスの提案

鷲野 海¹ 大西鮎美¹ 寺田 努¹ 塚本昌彦¹

概要: 唾液の働きには消化作用, 抗菌作用, 咀嚼・嚥下・発音補助作用などがあり, 唾液の分泌量が低下する疾患であるドライマウスによって様々な弊害が生じる. そのため, 口腔内が乾燥する症状のドライマウスを訴える患者は増加している. において, 熱, マッサージなどの唾液分泌を促進させる手法によってドライマウスを治療することが提案されてきた. しかし, それらの手法では唾液量の減少をユーザ自身が自覚することや, 唾液分泌に対するユーザの自発的な行動を必要とするため, 唾液量の認識や唾液促進を自動化できることが望ましいと考えられる. そこで本研究では, 口腔内環境を常時測定し, 刺激によって乾燥時に唾液分泌を促すウェアラブルデバイスの開発を目指す. 唾液分泌を促す上で, ユーザの置かれる環境や状況に応じて, 唾液分泌に有効な刺激は異なる可能性があるため, 被験者 8 名に対し, 異なる状況下で最も有効な刺激を調査した. 平常時, 起床時, 食後の 3 つの測定状況内においてにおいて, 熱, マッサージの 3 つの刺激を与え, その際の唾液分泌量の変化を測定した. 調査の結果, 状況や人によって有効な刺激が異なったため, 顎下部に装着したリニアアクチュエータ, ペルチェ素子, において出力デバイスによって刺激を与え, 唾液分泌を促すウェアラブルデバイスを提案した.

1. はじめに

唾液は多くの働きをもつ人体にとって重要な分泌液であるため, 分泌量が低下すれば舌炎や口内炎などの口腔疾患のみならずさまざまな弊害が生じる. 唾液の働きは, 主として食物摂取に関する作用 (消化補助, 嚥下補助, 味覚補助) と口腔内の恒常性を保つ作用 (自浄作用, 粘膜保護作用) の 2 つに大別でき, 他に発音補助などがある [1]. 唾液の分泌は加齢とともに低下し, 高齢者ではしばしば唾液分泌の低下による口腔内の異常が生じる. 唾液分泌の低下は加齢のみならず, 医原性にも誘導され唾液分泌低下の原因は多岐にわたっている [2]. さらに, ドライマウスの患者は増加傾向にあり, およそ 4 名中 1 名にドライマウスあるいはそれに関連する症状がみられる [3].

ドライマウスの治療では唾液分泌量を増加させることが最も望ましい. ドライマウスの治療はその原因が多岐にわたるため, 原因を排除することが困難であり, 症状が発症してから対処する対症療法とならざるを得ない場合が多い. 対症療法には, 保湿剤や人口唾液といった唾液以外のものによって口腔内を湿潤にする方法がある. しかし, 保湿剤や人口唾液では, 唾液のもつ抗菌作用, 組織保護作用, 消化作用などの効果は得られない. また, 唾液分泌を増加させる方法としては, 唾液分泌促進剤の投与がおこなわれている [4]. しかし, 薬剤の内服は医師による処方と全身管理が必要であり, 副作用の発生も確認されている. また, 市

販で購入可能な口腔内の乾燥を緩和するとされている口渇緩和ドロップの検証も行われている [5] が, ドロップを常時なめることは, 対象者の自発的な行動が必要となり難しく, 唾液分泌が望まれる場面で必ずしも唾液が分泌できるとは限らない. したがって, 唾液分泌が必要な場面で, 薬剤の投与やユーザ自身の自発的な行動なしに唾液を分泌させる方法が望まれる.

本研究では, 口腔内環境を常時測定し, ウェアラブルデバイスを用いてユーザに刺激を与えることで, 乾燥時に唾液の分泌を促す唾液分泌促進システムの構築を目指す. システム構築のためには, 口腔内環境測定デバイスと唾液分泌促進デバイスを検討する必要がある. 測定デバイスについては, 口腔内環境を常時測定するためのマウスピース型デバイス [6] や, 近赤外線分光法を用いて唾液分泌量を測定する手法 [7] が提案されている. 一方, 唾液分泌の促進については, においや熱などによる刺激や, 唾液腺をマッサージにより刺激することで唾液分泌量が増加することが明らかになっている [8], [9] もの, どの刺激が最も有効かは調査されていない. また, 日常生活の中で, 口腔内の乾燥状態は常に変化していると考えられるが, どのような状況で, これらの刺激が有効であるかは調査されていない. また, 唾液分泌を促す刺激を与えるためのウェアラブルデバイスは提案されておらず, 唾液分泌が必要な場面でこれらの刺激が受けられるとは限らない.

そこで, 本論文では, においによる刺激, 熱による刺激, マッサージによる刺激を様々な状況で与え, 各刺激の唾液

¹ 神戸大学大学院工学研究科

分泌量への影響を調査した上で、唾液分泌の促進に有効な刺激を与えられるウェアラブルデバイスを提案する。実験では、口腔内環境が通常状態と想定される平常時、口腔内環境が乾燥状態と想定される起床時、口腔内環境が湿潤状態と想定される食後の3つの状況での有効な刺激の調査を行った。調査の結果を踏まえて、唾液分泌に適した刺激を与えるためのウェアラブルデバイスを提案した。

本論文は以下のように構成される。2章で関連研究を紹介する。3章では各状況、各刺激における唾液分泌量変化を調査した実験と結果を述べ、4章で刺激を与えるための提案デバイスについて説明する。最後に5章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

本章では唾液分泌とその効果、影響に関する研究と唾液分泌量の改善に関する研究および口腔活動の活発化を目的とする研究について述べる。

2.1 唾液分泌の効果に関する研究

唾液に関する研究は数多く行われている。柿木の研究によると、唾液分泌低下により様々な障害が生じることはわかっており、舌疼痛や口腔カンジダ症、味覚異常などの歯科口腔疾患だけでなく義歯不適合や摂食嚥下障害、さらに誤嚥性肺炎とも大きく関連している[10]。ドライマウスの原因には薬剤の副作用があげられ、服用薬剤による唾液分泌低下が考えられる場合は薬剤の服用を避けるようにすべきである。しかし、薬剤の副作用を除去、中止してもすぐには効果が出ない場合が多いので、唾液分泌の改善、保湿ケアが必要である。ドライマウス患者には、唾液分泌を促すようなリハビリテーションや口腔機能訓練が効果的で、口腔ケアとして適度な刺激を与えたり、顎下腺や耳下腺などのマッサージ、舌体操、口腔体操などを応用する。植田らの研究では、ドライマウス患者の睡眠の質を調査した[11]。この研究では吐き出し法、ガム法を用いた唾液分泌量を計測した。ピッツバーグ睡眠質問表を用いた睡眠の質のアンケートと唾液分泌量の関連性を調べると、唾液量低下郡において睡眠の質が悪いという結果を得られた。唾液分泌量低下による障害は大きく、また原因は多岐にわたるので唾液分泌低下の治療においては薬物医療だけでなく、多様な選択肢を用意する必要性を示唆している。本研究では、唾液分泌低下に対する治療の選択肢のひとつとして、ウェアラブルデバイスにより顎下部を刺激することで唾液分泌を促す手法を提案する。

2.2 唾液分泌量の改善に関する研究

唾液分泌を促進させる手法は多く提案されている。しかし、口腔内が乾燥状態になった場合に唾液分泌を促進できる常時装着可能な唾液分泌促進手法はこれまでに提案され

ていない。外部からの刺激によって唾液分泌を促す手段には、におい、熱、マッサージによる刺激が研究されている。本節ではにおい、熱、マッサージにより唾液分泌を促す研究を紹介し、ウェアラブルデバイスを用いた唾液分泌促進方法を検討する。

2.2.1 においにより唾液分泌を促す研究

においにより唾液分泌を促す研究唾液分泌多く行われている。東岡らの研究ではスダチのにおい刺激による唾液分泌促進効果を検討している[8]。におい刺激剤として、スダチ果皮より抽出したスダチ精油とスダチ風人口香料の2つを用いた。どちらのにおい刺激においても、30秒間の刺激のあとには安静時唾液分泌量とくらべ唾液分泌量が1.5倍から2倍ほど増加した。伊藤の研究ではブラックペッパーオイルとカルダモンオイルをにおい刺激として、ホホバオイルを無臭対照試料として用い、唾液分泌量の変化を調べている[12]。ブラックペッパーオイル刺激時とカルダモンオイル刺激時では、安静時およびホホバオイル刺激時と比べ、どちらの刺激時も唾液分泌量は有意に多かった。

これらの研究は酸っぱい香りやスパイシーな香りをもつ香料が唾液分泌を促進させることを示している。したがって、本研究では、香酸柑橘類の香りを出力するウェアラブルデバイスを提案し、唾液分泌効果を調査する。

2.2.2 熱により唾液分泌を促す研究

温熱刺激により唾液分泌を促す研究も数多く行われている。谷口らの研究では、顎下部を温めながら口腔内のブラッシングをしたとき、温めずにブラッシングをしたときの2つを比べ唾液量を測定した[13]。コールド・ホットパックを3個使用し、加湿器で50℃に温め使用すると、唾液分泌量の増加が認められた。坂木らの研究では、口腔内乾燥、舌苔、亀裂の何らかがみられている患者3名に対して、加湿器で50℃に温めたコールド・ホットパックを3個使用し、耳下腺から顎下部全体の後頸部を10分間温めた。患者の症状や個人差はあるものの温電法により唾液の増加がみられ、自浄効果により細菌数減少につながった[14]。東岡らの研究では、温熱アイマスクを用いて、目元温熱刺激、顎下部温熱刺激、胸元温熱刺激の3つの場所での刺激を与えたときの唾液分泌量を計測している[8]。顎下部温熱刺激で累積増加率が大きいことを示した。

これらの研究は顎下部を温めることが唾液分泌を促進させることを示している。したがって、本研究では、顎下部を温めるためのペルチェ素子を内蔵して、唾液分泌を促すデバイスを提案し、唾液分泌効果を調査する。

2.2.3 マッサージにより唾液分泌を促す研究

マッサージにより唾液分泌を促す研究も数多く行われている。徳間による研究では、唾液を分泌する3つの腺である耳下腺、顎下腺、舌下腺それぞれの場所をマッサージすることで唾液分泌が促進することを示した[9]。松尾らによる研究では、唾液腺マッサージによる唾液分泌量を年齢別

に比較している [15]。各年代の安静時口腔乾燥に有意差は無く、マッサージによる唾液分泌量も有意差はなかった。また、他者マッサージより自己マッサージのほうが緊張がなく、唾液分泌に有効であるとしている。小谷らの研究では、アロマセラピストが30分間、アロマオイルを用いて口腔周辺および上半身のマッサージを行った [16]。6名中4名は施術後に唾液分泌量は増加し、アロマセラピーがドライマウス症例に対し有効な場合があることが示唆された。

これらの研究では、顎下部や上半身をマッサージすることで、唾液分泌が促進することを示している。本研究では顎下部にリニアアクチュエータを装着し、アクチュエータにより唾液腺を刺激するデバイスを提案し、唾液分泌効果を調査する。

3. 実験

本章では口腔内が乾燥している場合に唾液分泌を促進するためのシステムの構築に向けて、においによる刺激、熱による刺激、マッサージによる刺激を様々な状況で与え、唾液分泌量への影響を調査する実験を行った。

3.1 実験内容

日常生活の中で、口腔内の乾燥状態は常に変化しており、状況に応じて唾液分泌に有効な刺激が異なると考えられる。そこで、先行研究 [8], [9] で唾液分泌促進に効果があるとされている刺激を、口腔内環境が異なることが想定される3つの状況下で与えた場合の唾液分泌量の変化を20代男性6名、女性2名に対して調査した。

実験条件

本研究では日常生活において口腔内環境が異なると考えられる3つの状況と、先行研究によって有効性が示された3種類の刺激に無刺激条件を加えた計3×4の12条件で実験を行った。

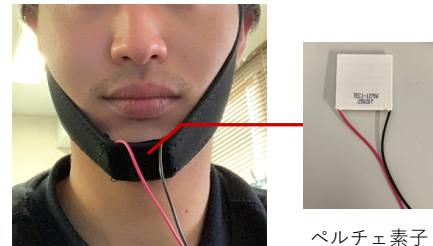
唾液分泌を促すための刺激は先行研究を参考に以下の3つを与えることとした。

- におい刺激: レモン果汁 [21] のにおいを嗅ぐ
- 温熱刺激: ペルチェ素子 [22] で顎下部を温める
- 圧力刺激: リニアアクチュエータ [23] を伸縮させ顎下部を刺激する

におい刺激、温熱刺激、圧力刺激を与えている様子をそれぞれ図1(a)、図1(b)、図1(c)に示す。におい刺激においては、ポッカレモンを鼻の先から1cmほど離し、ビンから直接嗅いだ。温熱刺激においては、ペルチェ素子には4.4Vの電圧をかけ、素子を約40°Cに温めた。圧力刺激においては、リニアアクチュエータが1秒毎に3cm伸縮し、唾液腺の1つである顎下腺を刺激するようArduino Nano[24]で制御した。また実験時には刺激の有無にかかわらず、被験者は図1(b)、図1(c)の温熱、圧力刺激出力デバイスを重



(a) におい刺激



(b) 温熱刺激



(c) 圧力刺激

図1 実験で与えた刺激

ねて装着し、刺激以外の差異は無いようにした。

測定はそれぞれ異なる口腔内環境の想定に基づき、以下の3つの状況について行った。

- 平常時: 口腔内環境が通常状態
- 起床時: 口腔内環境が乾燥状態
- 食後: 口腔内環境が湿潤状態

実験方法

1 試行の流れは、試行開始直後に唾液量を測定し、その後5分おきに唾液量を測定した。試行開始直後の1回目の測定は、出力デバイスを装着し刺激が無い状態で行った。試行の開始後、被験者に対して刺激を常にと与え、測定回数が7回、計30分が経過するとその試行を終了とした。

また、刺激以外の影響を取り除くため、被験者には実験中および実験前で以下のことを禁じた。まず、実験中の被験者には安静状態を保つことを求め、飲食喫煙は禁止した。平常時の実験前10分間は飲食喫煙を禁止とした。また、別の測定、食事、起床、激しい運動を終えて1時間以上時間を置いた。起床時の測定は飲食やブラッシング、うがいを

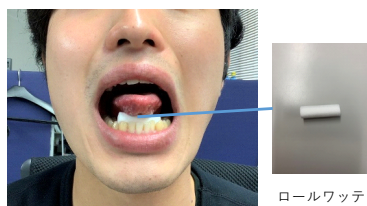


図 2 ワッテ法での唾液量測定の様子

表 1 平常時の無刺激時における平均唾液分泌量

被験者	唾液分泌量 (g)
A	0.45
B	0.31
C	0.13
D	0.36
E	0.25
F	0.55
G	0.24
H	0.64

せずに目が覚めた直後に行った。食後は食事をとり終えた直後測定した。

測定方法

被験者の唾液量の測定にはワッテ法 [25] を用いた。図 2 にワッテ法の様子を示す。この測定法では、まず被験者の舌下部に幅約 10 mm、長さ約 30 mm のロール状の脱脂綿 (ロールワッテ)[26] を留置して、口を軽く閉じさせる。そして、30 秒後にロールワッテを取り出し、留置前後のロールワッテの重量変化により吸湿された唾液量を測定する。また、ロールワッテ留置中の 30 秒間の唾液分泌量を測定するため、測定前に被験者の口腔内の唾液をガーゼで拭き取ってもらい、測定毎に新しいロールワッテを使用する。

被験者の口腔状態

ワッテ法では健常者のロールワッテの重量変化の平均値は 0.3 ± 0.2 g、ドライマウス患者の平均値は 0.04 ± 0.03 g であり、唾液分泌量が 0.14 g 以下である場合、ドライマウスとされる [25]。各被験者の平常時 4 回分の唾液分泌量の平均値を表 1 に示す。唾液分泌量が 0.14 g を下回った被験者 C はドライマウスであることがわかった。

調査内容

各状況において、どの刺激が唾液分泌に効果的であるかを明らかにするために刺激別の合計唾液分泌変化率を調査した。測定開始 0 分の唾液分泌量が測定時の唾液分泌能を表していると考え、0 分の唾液分泌量を基準に、5 分から 30 分間の合計 6 回の唾液分泌量の合計値の割合を算出した。0 分時の唾液分泌量を a_0 、5 分以降の唾液分泌量を $a_5, a_{10}, \dots, a_{30}$ とし、合計唾液分泌変化率 S を (1) 式によ

表 2 合計唾液分泌変化率

被験者	刺激	平常時	起床時	食後
A	無刺激	5.69	10.23	5.06
	温熱	7.42	4.67	5.69
	圧力	6.66	5.68	5.14
	におい	8.40	3.85	6.09
B	無刺激	6.23	6.57	5.26
	温熱	5.45	4.67	5.96
	圧力	9.36	5.55	5.16
	におい	8.02	8.92	10.06
C	無刺激	2.20	3.75	4.23
	温熱	12.70	3.31	4.37
	圧力	20.54	4.51	4.13
	におい	6.61	8.77	15.47
D	無刺激	4.78	5.90	5.19
	温熱	9.74	3.30	5.68
	圧力	4.53	6.86	4.52
	におい	6.08	4.62	5.85
E	無刺激	8.38	11.93	5.49
	温熱	6.16	4.65	5.35
	圧力	6.92	6.19	3.94
	におい	7.75	6.04	3.62
F	無刺激	5.40	4.85	3.28
	温熱	7.39	5.95	5.38
	圧力	7.35	9.18	9.02
	におい	12.55	27.89	8.46
G	無刺激	8.66	7.56	8.08
	温熱	9.26	5.37	6.50
	圧力	8.68	16.54	5.66
	におい	7.28	7.18	6.76
H	無刺激	4.93	5.42	7.23
	温熱	9.15	7.92	5.95
	圧力	11.08	10.15	7.49
	におい	14.16	6.11	8.89

り求めた。また、各被験者の各状況、各刺激における合計唾液分泌変化率を表 2 に示す。

$$S = \sum_{k=1}^6 a_{5k} / a_0 \quad (1)$$

さらに、ドライマウス患者である被験者 C に関する刺激の効果进行调查した。0 分時の唾液分泌量を基準とするため、各唾液分泌量と 0 分時唾液分泌量の差进行调查した。

3.2 実験結果

3.2.1 合計唾液分泌変化率の評価

各状況と各刺激の $3 \times 4 = 12$ 条件で合計唾液分泌変化率を標本とした 2 要因分散分析を行った。被験者内 2 要因分散分析の結果、状況および刺激の主効果に有意傾向が見られ (状況別: $F(2, 14) = 3.34, p < 0.1$ / 刺激別: $F(3, 21) = 2.37, p < 0.1$)、この 2 つの要因に交互作用は見られなかった。有意傾向が見られた要因について LSD 法による多重比較を行った結果、有意な差が見られたもの

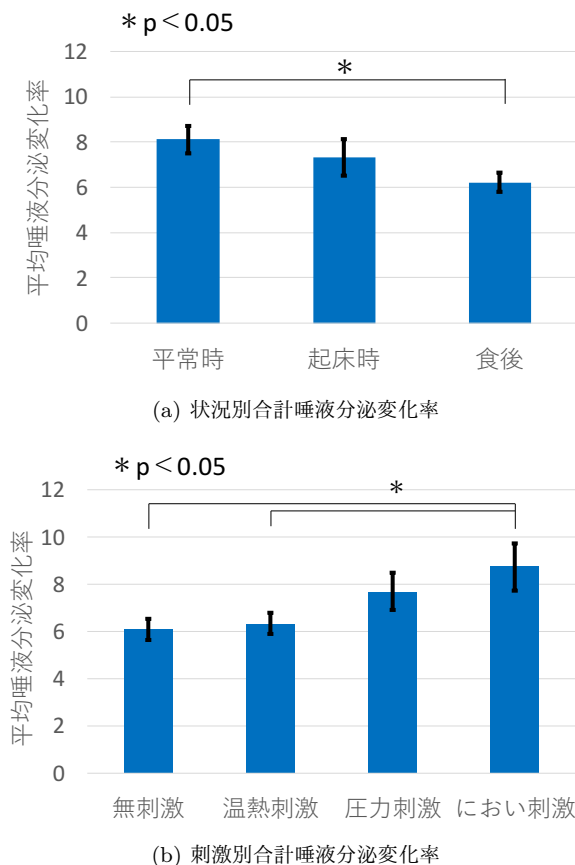


図 3 合計唾液分泌変化率の平均値

を図 3 に示す。図 3 のエラーバーは標準誤差を示し、* は $p < 0.05$ で有意であることを示す。

図 3(a) より、平常時の合計唾液分泌変化率が食後より有意に大きいことがわかる。食後は食事中に咀嚼をすることで 0 分時の唾液分泌量が多く、唾液分泌変化率は大きくならなかったと考えられる。また、平常時は刺激を与えると唾液分泌量が増加したことにより食後との有意差が見れたと考える。

図 3(b) より、におい刺激が温熱刺激や無刺激時より有効であることが分かった。よって、唾液分泌促進に有効な刺激はにおい刺激であるといえる。

3.2.2 各被験者の合計唾液分泌率に関する評価

各被験者における有効な刺激のばらつきを調査する。前節より、におい刺激が無刺激時より有意に唾液分泌を促進することがわかった。しかし、被験者によってはにおい刺激以外の刺激がより有効である可能性がある。また、におい刺激を使用できない場合、次に有効である刺激を与える必要があるため、2 番目に有効な刺激についても調査する。

各被験者における有効な刺激の順位を考える。各状況における順位別の有効な刺激の人数を表 3 に示す。各状況における最も有効な刺激の被験者数、2 番目に有効な刺激の被験者数、3 番目に有効な刺激の被験者数を示している。例えば、平常時に温熱刺激が最も有効であった被験者は 8

名中 2 名であり、温熱刺激が 2 番目に有効であった被験者は 7 名中 3 名であることがわかる。各被験者に対する有効な刺激を調査する上で、無刺激より合計唾液分泌変化率が小さい刺激は、唾液分泌の促進に有効ではないといえる。よって、いずれの状況下にあっても無刺激より効果順位の低い刺激は、効果順の人数にカウントしていない。また、表 3 では各状況の順位別で被験者数に応じて色を塗っている。今回は有効な刺激について調査しているので無刺激は対象としていない。

平常時での唾液分泌促進に有効な刺激の順位を調査した。表 2 より無刺激の合計唾液分泌変化率が最も大きい被験者 E は、平常時においては 3 種類の刺激全てが有効ではないといえる。被験者 E を除いた 7 名の被験者に関して最も有効な刺激を考える。表 3 の平常時より、唾液分泌変化率が最も大きい刺激は 3 名がにおい刺激、2 名が圧力刺激、2 名が温熱刺激であった。このことから、平常時において有効な刺激は被験者ごとに異なることが分かった。

起床時での唾液分泌促進に有効な刺激の順位を調査した。表 2 より無刺激の合計唾液分泌変化率が最も大きい被験者 A、E は、起床時においては刺激が有効ではないといえる。被験者 A、E を除いた 6 名の被験者に関して最も有効な刺激を考える。表 3 の起床時より、唾液分泌変化率が最も大きい刺激は 3 名がにおい刺激、3 名が圧力刺激であった。また、におい刺激が最も有効であった 3 名の被験者のうち 2 名は圧力刺激が 2 番目に有効であった。このことから、起床時において圧力刺激が最も有効であることがわかった。

食後での唾液分泌促進に有効な刺激の順位を調査した。表 2 より無刺激の合計唾液分泌変化率が最も大きい被験者 E、G は食後においてすべての刺激が有効ではないといえる。被験者 E、G を除いた 6 名の被験者に関して、最も有効な刺激を考える。表 3 の食後より、唾液分泌変化率が最も大きい刺激は 5 名がにおい刺激、1 名が圧力刺激であった。また、2 番目に有効な刺激は 6 名中 4 名が温熱刺激、1 名がにおい刺激、1 名が圧力刺激であった。これらのことから、食後には多くの被験者に対してにおい刺激が最も有効であり、次に温熱刺激が有効であった。

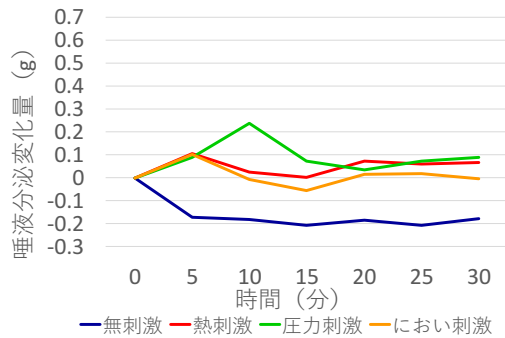
これらの結果より、平常時の有効な刺激にはばらつきがみられ、起床時には圧力刺激、食後ににおい刺激が有効な被験者が多いことがわかった。また、圧力刺激や温熱刺激が 2 番目に有効な被験者も確認できた。

3.2.3 ドライマウス患者の唾液分泌量変化の調査

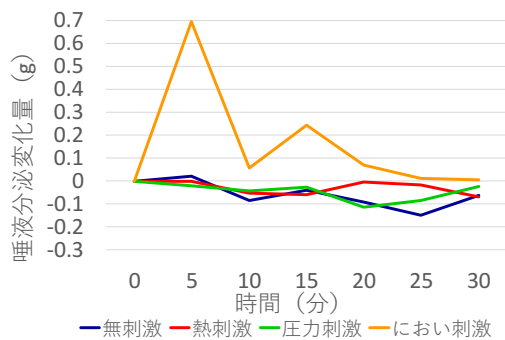
ドライマウス患者である被験者 C は平常時には全ての刺激で唾液分泌が促され、食後、起床時にはどちらにもにおい刺激によって唾液分泌を促したことが確認できた。被験者 C の各状況の唾液分泌変化量を図 4 に示す。図 4(a) より、無刺激状態と比較して全ての刺激で約 0.3 g の唾液分泌量増加が確認でき、特に圧力刺激が最も有効であることがわ

表 3 合計唾液分泌変化率の各刺激における効果順の人数

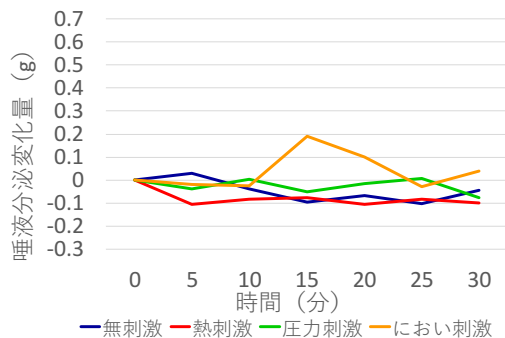
効果順位	平常時			起床時			食後		
	温熱	圧力	におい	温熱	圧力	におい	温熱	圧力	におい
1	2	2	3	0	3	3	0	1	5
2	3	2	2	1	2	0	4	1	1
3	1	2	1	1	0	1	1	1	0



(a) 平常時



(b) 食後



(c) 起床時

図 4 口腔乾燥症をもつ被験者の唾液分泌変化量

かる。図 4(b) より、食後ではにおい刺激によってはじめの 10 分間で最大 0.7 g 唾液分泌量が増加しており、その後も唾液分泌量は 0 分より多いことがわかる。図 4(c) の起床時にもにおい刺激によって 10 分以降唾液分泌量が約 0.3 g 増加していることがわかる。これらの結果から、ドライマウス患者は平常時には全ての刺激が有効であり、その中でも圧力刺激が有効であった。食後の 10 分間、起床時の 10 分以降にはどちらもにおい刺激によって唾液分泌を促せることが確認できた。

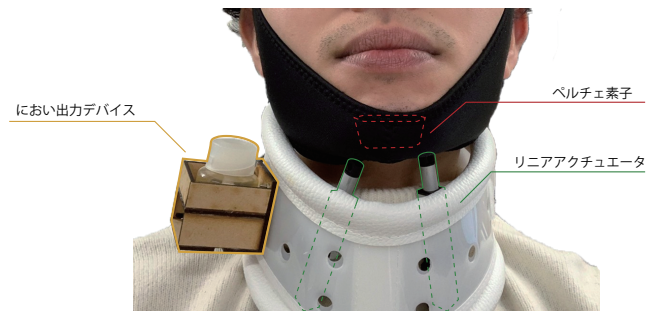


図 5 唾液分泌促進のための刺激デバイス

実験のまとめ

各状況と各刺激の $3 \times 4 = 12$ 条件で合計唾液分泌変化率を標本とした 2 要因分散分析を行い、におい刺激が有効であることがわかった。各被験者の合計唾液分泌変化率の評価からは、平常時には有効な刺激は被験者ごとに異なることが確認できた。食後では圧力刺激が、起床時にはにおい刺激が有効な被験者が多いことが確認できた。また、ドライマウス患者には平常時には圧力刺激、食後と起床時にはにおい刺激が最も有効であることが確認できた。

4. 提案デバイス

本章では実験結果を元に、口腔内環境改善のための顎下部型ウェアラブルデバイスの設計と考察を行う。

4.1 システム設計

必要時に刺激を与えることを可能にするために刺激出力装置をウェアラブルデバイスとして装着する。前章の各刺激の合計唾液分泌変化率の 2 要因分散分析の結果、におい刺激が有効であることがわかった。ただし、各被験者の唾液分泌率の結果から、有効な刺激は被験者や状況によって異なることもわかった。また、環境や状況によっては最も有効とされる刺激が使用困難な場合や効果がみられない場合があると考えられる。その状況では次に有効な刺激を与えることで唾液分泌を促進する必要がある。そのため、図 5 のように、におい刺激、圧力刺激、温熱刺激の全ての刺激出力装置を搭載したウェアラブルデバイスを提案する。におい出力機能は市販されている消臭センサー&スプレー [27] と同様に、におい成分を含んだ液体に超音波を照射することでにおいを出力する。圧力刺激、温熱刺激は 3 章の実験で用いたデバイスと同様、リニアアクチュエータ、ペルチェ素子を顎下部に固定し、出力する。

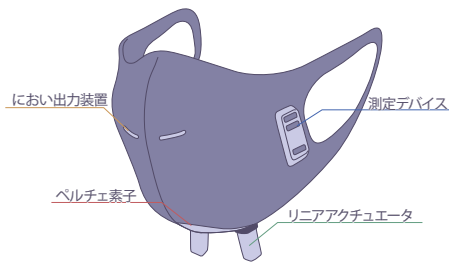


図 6 口腔内環境改善のための小型デバイスのイメージ図

4.2 考察

上記の提案システムと先行研究のマウスピース型デバイス [6] や近赤外線分光法を用いた測定デバイス [7] を装着することで、常時口腔内環境を測定し乾燥状態のとき唾液分泌を促進することができると考えられる。しかし、上記のマウスピース型デバイスの正確性は評価されていない。また、近赤外線分光法を用いた測定デバイスは大きい実生活を過ごす上で弊害になることが考えられる。よって、口腔内環境測定デバイスはより小型で、ユーザの日常生活で装着に違和感のないものに見直す必要がある。唾液分泌促進デバイスにおいてもコルセットが日常生活を送る弊害になることは大いに予想されるため、デバイスの小型化が必要となる。小型デバイスのイメージを図 6 に示す。近赤外線分光法を用いた測定デバイスをこめかみに設置し、におい出力装置は小鼻部に、ペルチェ素子とリニアアクチュエータは顎下部に設置する。におい出力装置は、においを含んだ液体に超音波を照射することでにおいを出す。

今回の実験では人によって状況や環境による唾液分泌量、有効な刺激が違っていたことがわかった。今後は様々な状況や環境、刺激の中での唾液分泌量を測定可能な口腔内環境測定デバイスを開発する。測定結果を分析し、傾向を得ることで唾液分泌に必要な刺激を選択可能な唾液分泌促進デバイスの開発を行う。

5. まとめ

唾液分泌を促進するためのシステムの構築に向けて、においによる刺激、熱による刺激、マッサージによる刺激を様々な状況で与え、唾液分泌量への影響を調査する実験を行った。各状況と各刺激の $3 \times 4 = 12$ 条件で合計唾液分泌変化率を標本とした 2 要因分散分析を行った。その結果、無刺激、熱刺激と比較し、におい刺激が有効であることが分かった。また、各被験者の合計唾液分泌変化率の調査では、状況ごとに有効な刺激が異なることがわかった。平常時に有効な刺激は被験者ごとに異なる結果となり、起床時には圧力刺激、食後にはにおい刺激が有効な被験者が多いことがわかった。さらに、ドライマウス患者に対しては平常時の無刺激と比較して全ての刺激で約 0.3 g の唾液分泌量増加が確認でき、平常時には全ての刺激が有効であることが確認された。食後、起床時には無刺激と比較してにおい刺

激を与えた時の唾液分泌量がそれぞれ最大 0.7 g、0.3 g 増加しており、食後、起床時にはにおい刺激が有効であることがわかった。

実験結果をもとに、口腔内環境を常時測定し、乾燥時に状況に合わせ唾液の分泌を促すウェアラブルデバイスを提案、実装した。提案デバイスは、顎下部にペルチェ素子、リニアアクチュエータ、におい出力デバイスを備えた顎下装着型デバイスであり、刺激を与えることでユーザの唾液分泌を促す。唾液分泌量は個人差があり、周囲の状況や環境によって左右されるため、今後もデータ収集を重ねる。本論文では 3 つの測定状況で、3 種類の刺激を与えたときの合計唾液分泌変化率を評価したが、他の刺激、状況も検討しデバイス構成を見直す。また、状況や人に合わせて対応可能なシステム構成を今後探っていく。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR18A3) の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 老木浩之, 山本悦生, 大村正樹, 日野 恵, 水上千佳司, 小形哲也, 宗田由紀, 田辺牧人, 池窪勝治: 口腔内諸症状と唾液分泌能, 日本口腔・咽頭科, Vol. 6, No. 2, pp. 151-157 (Feb. 1994).
- [2] 植田栄作, 木村 剛, 谷田豊宏, 岡本哲郎, 岡本敦子, 森 仁志, 山本哲也, 尾崎登喜男: 唾液分泌低下—その原因と唾液分泌低下に伴う口腔障害, 口科誌, Vol. 52, No. 5, pp. 227-234 (Sep. 2003).
- [3] M. Edgar, C. Dawes and D. O'Mullane: Saliva and Oral Health, *British Dental Journal* (Jan. 2004).
- [4] 篠崎昌一, 森山雅文, 林田淳之介, 田中昭彦, 前原 隆, 古川祥子, 太田美穂, 今林佑美, 中村誠司: シェーグレン症候群患者に対する唾液分泌促進薬の有効性と副作用の検討, Vol. 61, No. 3, pp. 147-153 (Mar. 2015).
- [5] 石島 勉, 広瀬哲也, 平井敏博, 青木 聡, 雪野英一郎, 渡部茂: 味覚受容器を刺激する唾液分泌促進剤の臨床的評価, 日本補綴歯科学会誌, Vol. 38, No. 3, pp. 636-643 (June 1994).
- [6] 竹内周平, 関田俊明, 伊藤淳二, 井口寛弘, 若杉葉子, 寺中智, 大渡凡人, 植松 宏: 口腔内湿度計測法の検討, 老年歯科医学, Vol. 24, No. 2, pp. 180-181 (Sep. 2009).
- [7] H. Sato, A. N. Obata, I. Moda, K. Ozaki, T. Yasuhara, Y. Yamamoto, M. Kiguchi, A. Maki, K. Kubota and H. Koizumi: Application of near-infrared spectroscopy to measurement of hemodynamic signals accompanying stimulated saliva secretion, *Journal of biomedical optics*, Vol. 16, No. 4, pp. 1-8 (Apr. 2011).
- [8] 東岡紗知江, 比嘉仁司, 本田 剛, 中道敦子, 本釜聖子, 永尾寛, 市川哲雄: スダチのにおい刺激および温熱刺激による唾液分泌促進補助法の考案, 老年歯科医学, Vol. 29, No. 1, pp. 3-10 (July 2014).
- [9] 徳間みづほ: 唾液マッサージの実際, 老年歯科医学, Vol. 20, No. 4, pp. 356-361 (Mar. 2006).
- [10] 柿木保明: 口腔乾燥症の病態と治療, 日本補綴歯科学会誌, Vol. 7, No. 2, pp. 136-141 (Apr. 2015).
- [11] 池田裕子, 岡本真理子, 山本 健, 今村武浩, 山近重正, 斎藤一郎, 中川洋一: ドライマウス患者における睡眠の質の評価とその低下に関連する因子, 歯薬療法, Vol. 33, No. 1, pp. 10-17 (Apr. 2014).
- [12] 伊藤 晃, 山村千絵: アロマオイルのニオイ刺激による唾液

分泌促進効果—ブラックペッパーオイルとカルダモンレモンオイルの場合—, 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌, Vol. 14, No. 2, pp. 134–144 (Aug. 2010).

- [13] 谷口早知, 坂木仁代, 佐々木悦子: 口腔ケア時における顎部・下顎部温罨法の検討—唾液分泌への効果を見る—, 日本看護学会論文集看護総合, Vol. 38, pp. 43–45 (Dec. 2007).
- [14] 坂木仁代, 谷口早知, 山本祐子, 藤森理美: 口腔ケア時における顎部・下顎部温罨法併用による唾液分泌の効果—口腔内乾燥の改善を考える—, 日本看護学会論文集看護総合, Vol. 39, pp. 345–347 (Dec. 2008).
- [15] 松尾恭子, 川崎裕美: 唾液腺マッサージによる唾液分泌の年齢別比較による高齢者の口腔ケアの課題, 日本職業・災害医学会会誌, Vol. 66, No. 2, pp. 124–128 (Mar. 2018).
- [16] 小谷泰子, 野原幹司, 古谷久美子, 阪井丘芳: ドライマウス症例への新しい試み—アロマオイルを用いたマッサージ—, 老年歯科医学, Vol. 24, No. 2, p. 180 (Sep. 2009).
- [17] 熊谷彩華, 谷中俊介, 二階雅弘, 小坂崇之: 咀嚼回数増加のきっかけ作りを目的としたゲームシステムの提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2016 論文集, pp. 189–190 (Nov. 2016).
- [18] 正木絢乃, 柳 青, 宮内将斗, 木村 堯, 野嶋琢也: スカッチュ: 口腔筋トレーニング支援を目的とするシリアスゲームの開発, 研究報告グループウェアとネットワークサービス, Vol. 35, pp. 1–6 (Jan. 2016).
- [19] 唐牛大吾, 萩原礼紀: ゲーム機を用いた運動療法による口腔内環境変化, 第 41 回日本理学療法学会大会抄録集, Vol. 33, No. 2, p. 998 (Apr. 2006).
- [20] 井上 翼, 大須賀美恵子: 高齢者の嚥下障害予防を目的としたシリアスゲームの開発と評価, 人間工学, Vol. 50, pp. 166–167 (June 2014).
- [21] ポッカサッポロ フード&ビバレッジ株式会社: ポッカレモン 100 (120ml), <https://www.pokkasapporo-fb.jp/products/lemon/pokkalemon/JK00.html>.
- [22] Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd.: Thermoelectric Cooler TEC1-12706, <https://peltiermodules.com/peltier.datasheet/TEC1-12706.pdf>.
- [23] Actuonix Motion Devices Inc.: L12-R Micro Linear Servos for RC & Arduino, <https://www.actuonix.com/L12-R-Linear-Servo-For-Radio-Control-p/l12-r.htm>.
- [24] Arduino Holdings: Arduino Nano Every-Pack, <https://store.arduino.cc/usa/nano-every-pack>.
- [25] 伊藤加代子, 井上 誠: 口腔乾燥症の基本的な診査・診断と治療, 老年歯科医学, Vol. 32, No. 3, pp. 305–310 (Dec. 2017).
- [26] 株式会社ニチエイ: 医科・歯科用製品 ローラーコットン EX L, <https://www.nichiei-cosme.co.jp/products/medical/>.
- [27] S. C. JOHNSON & SON, INC.: Glade, <https://www.glade.com/en/products>.