



Title	看護と工学の融合によるケアサポートに関する研究
Author(s)	武田, 真季
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/54703
rights	© 2012 Takeda M, et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

博士論文

題目

看護と工学の融合による
ケアサポートに関する研究

大阪大学大学院医学系研究科保健学専攻
統合保健看護科学分野
総合ヘルスプロモーション科学講座

指導教員：大野ゆう子教授
山田憲嗣特任教授

武田真季

2013年3月

論文内容の要旨

〔 題 名 〕

看護と工学の融合によるケアサポートに関する研究

学位申請者 武田 真季

近年、医工学や福祉工学分野の発展により、先端的な医療機器や福祉機器が開発され、医療現場への工学技術の応用が進んでいる。一方、患者やその家族に一番身近である看護・保健学への応用は未だ進んでいない。看護師・介助者の業務負担や人手不足は深刻な問題であり、看護師・介助者をサポートするツールを開発することにより、患者・高齢者かつ看護師・介助者のQOL (Quality Of Life) を向上させることは大変重要である。看護と工学の融合の一環として、転倒転落予防をサポートする見守りシステムの開発、洗髪をサポートする洗髪ロボットの開発、看護師業務かつ患者生活をサポートする患者－看護師の動線解析 (ビデオタイムスタディ)、排泄ケアをサポートするRFID (Radio Frequency IDentification) を用いた排尿モニタリングシステムの開発などを行ってきた。本論文では、看護の視点から人と接するケアロボットである洗髪ロボットを評価した「洗髪効果の評価」に関する研究について述べる。

洗髪は、頭皮・頭髪の清潔を保持するとともに、頭皮刺激による血行促進効果や頭皮機能の向上、精神的活性など様々な効果が期待されている。洗髪ができない状態が長く続くと身体的不快感・精神的不快感が増加し、さらには活動意欲や社交性の低下を招くと報告されており、洗髪はQOLに大きく関わる日常生活行動であることがわかる。しかし、在宅における高齢者の洗髪頻度は年齢とともに減少しており、加齢による身体機能の低下が自ら洗髪を行うことを困難にしていることが示唆されている。一方、病院・施設においても、患者の洗髪ニーズは高いものの実施回数は限られている。その背景には、洗髪室や洗髪台の数などの環境要因や洗髪者側の人手不足があり、現状では洗髪回数の増加は難しい。加えて、洗髪者である看護師や介助者にとっても洗髪は中腰で実施する業務であり、腰部負担が大きいケアの一つである。在宅、病院・施設ともに洗髪を介助する洗髪者をサポートし、自ら洗髪を行うことが難しい対象者のQOLを向上させることができるツールの開発が望まれている。

Panasonic株式会社は病院や介護施設での洗髪をサポートし、洗髪者の負担低減と被洗髪者のQOL向上を目的とした自動洗髪機として「洗髪ロボット」を開発した。洗髪ロボットは、ロボットハンド技術を応用した接触子がヒトの手指の代わりとなり、頭髪をこすり洗いすることで洗髪を行う。水圧で頭皮を洗浄する自動洗髪機と比べ、洗浄促進効果、リラクゼーション効果、湯水・シャンプーの削減効果が期待されている。しかし、洗髪ロボットによる洗浄効果や被洗髪者へのリラクゼーション効果は定量的に明らかにされていない。洗髪ロボットを医療分野で実用化するためには、看護師らが行っている洗髪と同等、もしくはそれ以上の効果が立証されなければならない。

そこで本研究では、洗髪ロボットによる洗浄効果、被洗髪者の生体に及ぼすリラクゼーション効果を定量的に評価し、ヒトによる洗髪の効果と比較することによって、洗髪ロボットの洗髪特性を明らかにすることを目的とした。

洗髪による洗浄効果とリラクゼーション効果を定量的に評価するために、洗浄指標、生理指標、心理指標の3つの指標で評価を行う。洗浄指標は、頭部に付着するアデノシン三リン酸 (Adenosine triphosphate : ATP) を「汚れ」とし、洗髪前後の頭皮と頭髪のATP値を測定した。生理指標は、先行研究でも信頼性が高いとされている血圧、心拍、皮膚温を測定した。それらに加えリラクゼーション効果を評価する指標として、心拍変動 (Heart Rate Variability : HRV) を測定した。心理指標は、洗髪前後の短期的な変化を捉えるためにVASを用いて主観調査を行った。

頭部に付着する汚れをATPとしたところ、ヒトによる洗髪では頭皮の汚れが31%、頭髪の汚れが22%減少し、ロボットによる洗髪では頭皮の汚れが16%、頭髪の汚れが28%減少した。洗浄度はヒトとロボット間に有意な差がみられなかった。頭皮の洗浄について部位別にみたところ、ヒトによる洗髪では左側頭部を除く3箇所ですべて洗髪前後に有意な差がみられ、全体的に洗浄できていた。ロボットによる洗髪では左側頭部のみ洗髪前後に有意な差が見られ、偏りがみられた。生理指標の変化から、身体的に負担を与える大きな変動はみられず、洗髪ロボットによる洗髪ではリラクゼーション効果が示唆された。心理指標から、ヒト・ロボットともに洗髪後爽快感が有意に増加していた。ヒトが感じる汚れとATPの量に相関はみられなかったが、ATPの減少率が高いほど爽快感が増加し、搔痒感が減少することがわかった。

ヒトによる洗髪の洗浄指標、生理指標、心理指標の結果を先行研究の結果と比較したところ、類似性がみられ、加えて各指標間の関連性についても検討することができ、本研究の評価方法の妥当性が示された。ロボットの洗髪特性を明らかにするために、ロボットによる洗髪の洗浄効果とリラクゼーション効果をヒトと比較したところ、部位により洗浄効果に差がみられたが、平均的な洗浄効果には有意な差がみられず、リラクゼーション効果があることが示唆された。洗浄効果の差については、ロボットの洗髪可能エリアが限られていることや体動による接触子と頭部の密着度の変化が考えられ、今後ロボットの洗浄機能の強化が望まれる。リラクゼーション効果については、ヒトの洗髪と比べて後頭部を洗う時に頭を持ち上げるなどの被洗髪者の動きが少ないこと、ロボットの接触子の動きや圧力がマッサージ効果を及ぼしたことが考えられる。ロボットの洗浄機能が強化されることにより、さらなる爽快感・リラクゼーション効果の増加につながる可能性が示唆された。

本研究の結果では、ロボットの洗髪効果はヒトの洗髪と有意な差がみられなかった。このことからヒトにかわってロボットが洗髪を行っても、被洗髪者に及ぼす洗浄効果、リラクゼーション効果に有意な差がない可能性がある。病院や施設に洗髪ロボットが導入されることにより、自ら洗髪を行うことが難しい対象者が希望に応じて洗髪を行うことができれば、QOLの向上が期待できる。しかし、本研究の被験者は健常者であり、患者や高齢者とはロボットに対する抵抗感（心理反応）が異なることが予想される。また、貧血患者や心疾患患者の場合、健常者に比べて洗髪による身体的負担が大きいと報告されており、患者や高齢者への適応についてはさらなる検討が必要である。一方、洗髪者にとってロボットによる洗髪は、身体的負担が少なく、業務効率の向上や人手不足の緩和につながると考えられる。ただ、ケアとしての洗髪は被洗髪者とのコミュニケーションの機会や、頭皮・頭髪などの皮膚状態の観察の機会など洗浄・リラクゼーション効果に加えた意義も大きい。洗髪ロボットは、すべての洗髪（洗髪ケア）を自動化するものではなく、被洗髪者や洗髪者の状態に合わせて選択できる一つのツールであるといえる。

目次

第 1 章	緒論	1
第 2 章	洗髪ケアサポート	2
2.1	緒言	2
2.1.1	背景	2
2.1.2	目的	4
2.1.3	関連研究	4
2.2	評価指標の設定	6
2.2.1	洗浄指標	6
2.2.2	生理指標	7
2.2.3	心理指標	7
2.3	ヒトによる洗髪効果の検討	8
2.3.1	方法	8
2.3.2	結果	12
2.3.3	考察	19
2.3.4	まとめ	21
2.4	洗髪ロボットによる洗髪効果の検討	22
2.4.1	方法	22
2.4.2	結果	24
2.4.3	考察	32
2.4.4	まとめ	34
2.5	ヒトによる洗髪と洗髪ロボットによる洗髪効果の比較検討	35
2.5.1	方法	35
2.5.2	結果	36
2.5.3	考察	40
2.5.4	まとめ	41

2.6	結言	42
第3章	結論	45
	謝辞	46
	参考文献	47
付録 A	頭皮常在菌数と頭皮 ATP 値の関係について	51
A.1	方法	51
A.1.1	対象	51
A.1.2	測定方法	51
A.1.3	分析方法	52
A.2	結果と考察	52

目次

3-1.	Measurement procedure.	10
3-2.	VAS scale.	10
3-3.	Result of cleanliness level.	12
3-4.	Results of log transformed ATP by subjects before and after shampooing.	13
3-5.	Results of log transformed ATP by areas before and after shampooing.	14
3-6.	Results of Blood Pressure (BP) and Heart Rate (HR) before and after shampooing.	15
3-7.	Results of Heart Rate Variability (HRV) before and after shampooing.	16
3-8.	Results of Peripheral Skin Temperature (PST) before and after shampooing.	17
3-9.	Results of VAS score before and after shampooing.	18
4-1.	Hair-washing robot.	23
4-2.	Result of cleanliness level.	25
4-3.	Results of log transformed ATP before and after shampooing.	26
4-4.	Results of log transformed ATP by areas before and after shampooing.	27
4-5.	Results of Blood Pressure (BP) and Heart Rate (HR) before and after shampooing.	28
4-6.	Results of Heart Rate Variability (HRV) before and after shampooing.	29
4-7.	Results of Peripheral Skin Temperature (PST) before and after shampooing.	30
4-8.	Results of VAS score before and after shampooing.	31
5-3.	Result of cleanliness level.	38
5-4.	Results of VAS change rate.	39
A-1.	Relationship between number of colonies and ATP.	53
A-2.	Relationship between number of colonies (over 30) and ATP.	53

第1章

緒論

近年、工学的技術を医療分野に応用することにより、医療の発展に多大な影響を与えている。医学への工学技術の応用として、CT (Computerized Tomography) や MRI (Magnetic Resonance Imaging) などに代表される診断計測機器、内視鏡や手術支援ロボットなどの新たな治療機器、人工臓器などの新たな治療法の開発により、早期・正確・低侵襲な診断や治療を行うことができ、患者の QOL (Quality Of Life) 向上に大きく寄与している。また、福祉分野にも工学技術の応用は進んでおり、車椅子やロボットスーツなどの移動生活支援機器、BMI (Brain Machine Interface) やパロなどのコミュニケーション支援機器の開発などにより、失われた機能を支援し、高齢者や障害者の ADL (Activities of Daily Living) 自立を支援している。

一方、患者、高齢者・障害者など被介助者に一番身近な存在である看護師・介護師を含む介助者をサポートするための、工学的技術の応用は未だされていない。少子高齢化が進む日本では、介助者の人員不足や介助負担、老老介護などは深刻な問題であり、介助者をサポートする技術の開発は大変重要である。そこで我々は、工学技術を応用して介助者をサポートするツールを開発することにより、被介助者かつ介助者の QOL 向上を目指した研究を行ってきた。その一環として、転倒転落予防をサポートする転倒予測システムの開発、洗髪をサポートする洗髪ロボットの開発、看護師業務をサポートし、患者安全をサポートする患者-看護師の動線解析、排泄ケアをサポートする RFID (Radio Frequency Identification) を用いた排尿モニタリングシステムの開発などを行ってきた。本論文では、看護の視点から人と接するケアロボットである洗髪ロボットを評価した「洗髪のケアサポート」に関する研究について述べる。

第 2 章

洗髪のケアサポート

2.1 緒言

2.1.1 背景

洗髪は、頭皮・頭髪の清潔を保持するとともに、頭皮刺激による血行促進効果や頭皮機能の向上、精神的活性など様々な効果が期待されている [1-4]。洗髪ができない状態が長く続くと、頭部にべたつきや搔痒感が現れ、不快感が増してくる。橋本らの実験的検討では、洗髪が制限されると 1 日目から身体的・精神的不快感が現れ、3 日目からは 8 割の被験者が人との交流を避けたいと回答しており、活動意欲や社交性の低下を招くことが示唆されている [5]。このように、洗髪は QOL (Quality Of Life) を維持するための欠かせない日常生活行動の一つであるといえる。

しかし、在宅における高齢者の洗髪頻度は減少している。都市生活研究所調べでは、入浴時に体や髪を洗う回数が減少したと回答した高齢者は 65 歳以上の 14.7 %、75 歳以上の 26.0 %であった。洗髪に着目すると、高齢になるほど洗髪頻度は減少しており、その主な原因が「おっくう」であることから、加齢による身体機能の低下や生活様式の変容が洗髪頻度の減少に大きく影響していると考えられる [6]。舟根らは、骨折により入院した高齢者の ADL (Activities of Daily Living) 回復過程について検討し、入院前に比べ退院後「入浴・洗髪」の頻度が有意に減少しており、ADL の中でも「入浴・洗髪」動作の回復が困難であることを示唆している [7]。以上のことから、高齢者にとって自ら洗髪を行うことは身体的に負担が大きい動作であるといえる。在宅介護において、入浴と洗髪は同時に行われることが多いが、入浴の要介助率がもっとも高いことから同様のことがいえる [8]。一方、病院・施設における洗髪頻度も限られている。木子らは、患者の 7 割は入院中の洗髪回数が入院前と比べて少なくなっており、洗髪回数の増加を望んでいることを示唆している [9]。一人で入

浴可とされる患者でも腕が上がりにくい、疲れるという理由で自身では洗髪をしないケースや、洗髪しても自分では十分洗えない、もしくはすすげないために結果的に洗髪を敬遠しているというケースも多い。介助者にとっても、入浴・洗髪業務は上半身だけを倒したいいわゆる中腰で実施する業務であり、腰部負担が大きい [10]。加えて、洗髪室や洗髪台の数の制限、人手不足、他の業務の優先など様々な要因がある。患者の要望に沿って入浴や洗髪介助をすることが望ましいが、実際には洗髪回数を増加することが難しい現状にある。このように、在宅、病院・施設ともに自ら洗髪を行うことが難しい被洗髪者と介助する洗髪者の洗髪をサポートするツールの開発が望まれている。

現場のニーズに応え、Panasonic 株式会社は洗髪をサポートし、被洗髪者の QOL 向上と洗髪者の負担低減を目的とした自動洗髪機として「洗髪ロボット」を開発した。従来の自動洗髪機は、ヒトの手指の動きの代わりに水流（水圧）で汚れを洗い流す水流（水圧）型が一般的であり、一部の美容院でも導入されている。一方、洗髪ロボットは、ロボットハンド技術を応用した接触子がヒトの手指の代わりとなり、頭髪をこすり洗い（接触摺動洗浄）することで洗髪を行う。従来の水流型洗髪機と比べ、マッサージ効果、洗浄促進効果、湯水・シャンプーの削減効果が期待されている [11]。洗髪手順は、頭部形状のセンシング、下洗い、シャンプー・マッサージ洗い、すすぎという4段階に分かれており、すべて自動で行われる。洗髪者は、被洗髪者を洗髪ロボットに移乗させる以外は、タッチパネル上の操作のみであるため、身体的負担は大幅に減少するといえる。洗髪者の身体的負担が減少すれば、洗髪回数の増加に対応可能であり、被洗髪者の QOL の向上が期待される。しかし、洗髪ロボットによる洗浄効果や被洗髪者への身体的負担・リラクゼーション効果は定量的に明らかにされていない。洗髪ロボットを医療分野で実用化するためには、看護師ら介助者が行っている洗髪と同等、もしくはそれ以上の効果が立証されなければならない。特に、入院患者や高齢者を対象とする場合、被洗髪者の身体的負担や心理的影響には十分考慮する必要がある。もちろん、看護における洗髪はケアの一環であり、単純にロボットに代用できるものでも、させるべきものでもない。頭頸部に創傷があるなど、被洗髪者の体位や頭部皮膚自体に注意を払わねばならない場合も多い。したがって、本研究では頭頸部に創傷がなく、洗髪時の体位において制限がない状況であることを想定し、洗髪ロボットによる入院中の QOL 向上を考えるとという位置づけで検討を進める。

洗髪効果の検討には、様々な指標を用いた研究が行われている [1,2,12-27]。これらの研究では、洗髪が生理・心理反応に及ぼす影響を客観的指標と主観的指標を合わせて検討し、身体的負担やリラクゼーション効果について明らかにしている。しか

し、洗髪のもたらす効果として、身体的負担やリラクゼーション効果とともに重要である洗浄効果について検討しているものは少ない [3,4,28-35]。古い角質細胞や皮脂を適切に取り除くことは清潔保持の第一の目的であり、頭皮機能の向上のためにも重要である。また、洗い残しはさらなる掻痒感や落屑の原因につながると考えられるため、身体的負担やリラクゼーション効果と合わせて洗浄効果を検討することは必須である。橋本らは、身体的不快感と精神的不快感の関連性を示唆しており [5]、服部らも、頭皮の汚れまたは汚れの除去が対象者の心身に与える影響を検討することの重要性を述べている [36]。洗髪による洗浄効果や身体的負担、リラクゼーション効果はそれぞれ相互に関係していると考えられるため、洗髪効果を評価する際は、すべてを統合的に評価することが重要である。

2.1.2 目的

本研究では、洗髪ロボットによる洗浄効果、被洗髪者の生体に及ぼす身体的負担、リラクゼーション効果を統合的に評価し、ヒトによる洗髪の効果と比較することによって、洗髪ロボットの洗髪特性を明らかにする。

2節では、洗髪による洗浄効果、身体的負担、リラクゼーション効果を定量的に評価する指標を設定する。3節では、設定した評価指標を用いてヒトによる洗髪効果の評価を行い、評価指標の妥当性とヒトによる洗髪効果を明らかにする。4節では、3節と同じ評価指標を用いて洗髪ロボットによる洗髪効果を明らかにする。5節では、ヒトによる洗髪と洗髪ロボットによる洗髪効果を比較し、洗髪ロボットの洗髪特性について議論する。

2.1.3 関連研究

洗髪の一般的な効果について、洗髪による感染予防効果、保温及び循環促進効果、リラクゼーション効果、ポジティブな気分を向上させる効果が示唆されている [1,2]。また洗髪の一般的な効果を応用した脂漏性皮膚炎の改善や高齢者の術後せん妄予防などの検討も行われている [37,38]。脂漏性皮膚炎治療の一端として、物理的に真菌を除去するとともに、有効成分が表皮に残存し真菌の増殖を防ぐことから、抗菌剤配合のシャンプーによる洗髪が推奨されている。清らは抗真菌剤配合シャンプーとリンスの併用により、確実かつ早期に脂漏性皮膚炎症状の改善がみられたことを明らかにした [37]。松廣らは全身麻酔による手術を受けた高齢者を対象とし、洗髪実施によるせん妄予防効果を検討した。80歳未満の群において術後せん妄誘発因子を抑制する効果がみられ、洗髪によるせん妄予防の効果が示唆された [38]。

洗髪方法の検討については、「すすぎ」の方法 [12,13], 湯量や湯温 [14,15], 洗髪体位 [16-21], 補助具 [22-25], 看護師 (洗髪者) の技術 [26,27] などが行われている。本多らは、洗髪後の排水中の界面活性剤残留濃度を測定することにより、十分なすすぎに必要な湯量の目安を明らかにし、シャンプー剤の濃度により必要な湯量が異なることや「十分すすげた」という主観的な判断がすすぎの目安になることを示唆した [12,13]。井上らや松本らは、異なる湯量や湯温による生体への負担を検討するため、エネルギー代謝、心拍数、皮膚温、主観調査を測定している。湯温が高いほうが主観的には快適であると感じる傾向にあるが、すべての条件において生体への負担は少なく、湯量や湯温の違いによる差はみられなかった。洗髪実施時の周囲の環境や被洗髪者の状態に合わせて配慮する必要があると述べている [14,15]。洗髪体位については、もっとも多く研究されている。異なる体位による生体への負担を検討するため、エネルギー代謝、心拍、血圧、皮膚温、筋負荷、主観調査を測定している。健常者の場合、体位による変化は少ないが、前屈位に比べ、仰臥位もしくは上半身を挙上したファウラー位の洗髪が生体への負担が少ないことが示されている [16-21]。しかし、被洗髪者の状態や環境により体位に制限が伴う場合がある。制限下の洗髪者・被洗髪者の負担を軽減するため、洗髪補助具の開発も行われている [22-25]。洗髪時の技術については田丸らが、筋電位や皮膚温、頭部のゆれなどの被洗髪者の生体情報に加え、洗髪者の腕の動きと指の圧力を測定し、洗髪動作を定量化した検討も行われている。個人差は大きいものの、被洗髪者が快適と感じる頭部加速度、洗髪者の腕の加速度、指の圧力を明らかにした [27]。これらの研究では、循環動態、代謝作用、筋負荷などを身体的負担として計測しており、合わせて主観調査としてインタビュー調査、Profile of mood states (POMS)、Visual analog scale (VAS) が用いられている。

洗浄効果に関する研究では、加藤らは頭皮の皮脂量や常在菌数、落屑量を測定し、経時的な汚れの変化を観察することにより、洗髪の適切な頻度を明らかにしている [28-33]。工藤らや池田らは頭髪に付着する細菌を測定し、洗髪の除菌効果を明らかにしている [3,4]。中野らは頭皮のアデノシン三リン酸 (Adenosine Triphosphate : ATP) 量を測定し、予備洗いの有無による頭皮の清浄度の検討を行っている。予備洗いの有無と頭皮の ATP 値に有意な関係はみられなかったが、7 割の被験者が洗髪により ATP 値が減少しており、洗浄効果の評価に ATP 法を活用できる可能性を示唆している [35]。これらの研究では、頭部の汚れを定量化することにより、今まで感覚的にしか捉えられていなかった洗髪の効果客観的に評価している。

2.2 評価指標の設定

本節では、洗髪による洗浄効果、身体的負担、リラクゼーション効果を統合的に評価するために、洗浄指標、生理指標、心理指標の設定を行う。

2.2.1 洗浄指標

洗髪の洗浄指標として、常在菌数、皮脂量、落屑量、ATP量が用いられている。常在菌数は、採取した細菌を培地に塗布し、一定条件下で培養した後、目視により測定する方法が一般的である。培地の種類を選択することにより、細菌の種類を同定することができる。洗髪に限らず洗浄効果の指標としてもっとも一般的であるが、滅菌環境・培養装置など特殊な環境が必要であること、作業が煩雑であること、採取から結果まで約2-3日かかることなどの欠点がある。皮脂量は、測定部のフィルムに皮脂を吸着させフィルムの前後変化を光透過法により定量化する方法が一般的である。測定方法によっては皮脂の成分を同定することができるが、市販の測定機器を用いて頭部の測定を行う場合、剃髪が必要となる。落屑は、観察者が目視により定量化を行うため測定機器は不要であるが、観察者の主観に左右される可能性がある。ATP量は、ATPとルシフェラーゼの酵素反応により発光する光の量を測定する方法が一般的である。ATPは、動物、植物、微生物などあらゆる生物中に存在する物質である。専用キットを用いることにより、簡単に、短時間で測定することができるが、ATPの由来は特定することができない。

各指標の特徴をふまえ、測定が簡便であること、頭部には常在菌・皮脂・落屑・ほこり・整髪剤などさまざまな付着物があり、洗髪はこれらを総合的に取り除くことが目的であること、から本研究ではATP量を用いることとした。ATP量を洗髪の洗浄指標とした研究は1件のみであるが、ATPふき取り検査法（以下、ATP法）は食品衛生管理の分野において、衛生状態のモニタリングに利用されており、汚れが微生物の増殖の温床になることから、微生物そのものの値ではなく、ATPを測定することの有用性が述べられている [39]。また、医療分野においても、医療機器の清潔管理 [40-44] や手洗い評価・教育 [45-51] のために用いられており、その有用性が示されている。

本研究では中野らの方法 [35] を参考に、頭部に付着するATPを「汚れ」とし、洗髪前後の頭皮・頭髪のATP値を測定することとした。なお、ATP法の妥当性を評価するため頭皮常在菌数と頭皮ATP値の関係について検討した結果を付録Aに記載する。

2.2.2 生理指標

洗髪による身体的負担・リラクゼーション効果を示す生理指標として、数多くの指標が用いられている。具体的には血圧、心拍数、筋緊張、自律神経活動、血流量、皮膚温、脳波、唾液コルチゾール/アミラーゼなどがある。本研究では、洗髪以外の外部刺激を除くため、非侵襲的な測定方法であり、洗髪時も測定可能な方法を選択し、血圧、心拍数、末梢皮膚温、心拍変動（Heart Rate Variability : HRV）を測定することとした。HRV は非侵襲的に自律神経機能を評価することができる方法として妥当性が示されており、ストレスやリラクゼーション効果を検討する際に多く用いられる方法である [47]。

2.2.3 心理指標

洗髪効果を示す心理指標として、インタビュー調査、POMS、VAS が用いられている。インタビュー調査は被験者の自由な回答が得られるが、統計処理が困難である。POMS は 65 の質問項目があり、5 件法により評定を求める。6 つの下位尺度「緊張-不安」「抑うつ-落胆」「怒り-敵意」「活力-積極性」「疲労-無気力」「混乱-当惑」から構成される。個人のおかれた条件の下で変化する一時的な気分や感情の状態を測定することができ、信頼性の高い尺度である。しかし、質問項目が多く、また一定期間を振り返り評定することを主としている [53,54]。VAS は想像できるもっとも良い状態を 100、もっとも悪い状態を 0 とし、100mm の直線上に今の状態をマークする方法である。質問項目は自由に設定することができる。被験者間の比較では信頼度が低いと言われているが、単純であるため容易に作製することができ、被験者も理解しやすく測定を短時間で終了することができる。また、他の評価指標に比べて、介入前後の変化を捉える際に有用であるといわれている [55,56]。

本研究では、洗髪による洗浄効果、身体的負担、リラクゼーション効果を評価するため、洗浄効果の主観的評価となる「掻痒感」、身体的負担・リラクゼーション効果の主観的評価となる「不快感」、「疲労感」、「爽快感」の検討が必要である。これらを測定する方法として、質問項目を自由に設定でき、前後の短期的な変化を捉え、かつ複数回の調査になるため被験者負担の少ない VAS を用いることとした。

2.3 ヒトによる洗髪効果の検討

本節では、提案した評価方法を用いてヒトによる洗髪の洗浄効果、身体的負担、リラクゼーション効果の評価を行い、評価指標の妥当性とヒトによる洗髪効果を明らかにする。

2.3.1 方法

2.3.1.1 実験条件

1) 対象

被洗髪者は口頭、書面にて本研究の主旨を説明し、理解・同意が得られた健常者9名（男性6名、女性3名）とした。対象者の平均年齢は 25.0 ± 5.43 歳、身長は 165 ± 8.23 cm、体重は 59.7 ± 9.39 kg であった。髪型は、頭髪の長さが 400 mm 以下のセミロングヘアまでを対象とし、平均 246 ± 108 mm であった。対象者には、1) 実験前日は過度なアルコール・カフェインの摂取、夜更かし、過度な運動を行わないこと、2) 実験日前夜・実験日当日の洗髪は行わないこと、3) 当日は整髪料・マニキュアをつけてこないこと、4) 実験時食後3時間以上経過していること、を指示した。また性周期による自律神経系への影響が指摘されているため、女性の対象者は実験日当日が低温期であることを確認した。なお、本研究については大阪大学保健学科倫理委員会（No. 215）の承認を得た。

2) 環境

室温 20.4 ± 2.5 度、湿度 50 ± 10 %の安定した環境で実験を行なった。

3) 洗髪方法

洗髪者は、洗髪技術を習得しているものとして、臨床経験のある看護師6名（男性2名、女性4名）とした。洗髪者の平均年齢は 29.7 ± 8.52 歳、臨床年数（教育年数）は 5 ± 4.77 年であった。洗髪は洗髪台を使用し、洗髪椅子を倒してファウラー位で洗髪を行なった。使用するシャンプー剤、シャンプー剤の量（10 ml / 1名）、洗髪所要時間（すすぎ1分、洗い2分、すすぎ1分30秒）は統一した。

2.3.1.2 測定方法

1) 洗浄指標

洗浄度の測定にはキッコーマンバイオケミファ株式会社製の「ATP + AMP ふき取り検査キット」を用いた [57]。AMP は、アデノシンーリン酸（Adenosine

Monophosphate) であり、加熱や長期保存、酵素等の働きにより ATP が分解する過程で生じる物質である。本キットを用いることにより、ATP のみを測定する他のキットに比べ、高い精度で ATP を検出することができると考えられる。本キットは、測定器であるルミテスター PD-20 と試薬であるルシパック Pen により構成されている。ルシパック Pen を水道水で湿らせ、測定部位の 50 mm 範囲を同一の力で 10 往復擦過し、ルミテスター PD-20 で測定した。測定値は Relative Light Units (RLU) で示される。測定部位は、頭頂部・右側頭部・左側頭部・後頭部の計 4 箇所の頭皮と頭髪とした。測定手技による誤差を最小限にするため、擦過・測定は同一実施者が行なった。洗髪前後の ATP+AMP (以下、ATP) 測定は、洗髪前と洗髪後ドライヤーで整髪した後の 2 回行い、それぞれの測定値を、「洗髪前 ATP 値 (ATP - BS)」「洗髪後 ATP 値 (ATP - AS)」とした (Figure 3-1)。

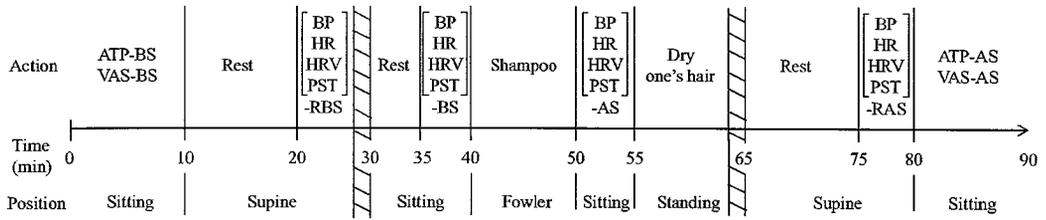
2) 生理指標

生理反応の指標として、血圧 (Blood Pressure : BP), 心拍数 (Heart Rate : HR), HRV, 末梢皮膚温 (Peripheral Skin Temperature : PST) を測定した。測定手順を Figure 3-1 に示す。血圧と心拍数の測定は、Panasonic 社製手くび血圧計 EW-BW30 を用い、被洗髪者の右手首に装着した。HRV の測定は、東京医研社製 APG ハートレーター SA-3000P を用い、左人差し指にセンサを装着して 3 分間測定した。皮膚温の測定には、立山科学工業社製のデジタル出力付き温度センサ DS101 を用い、センサプローブを左中指と左親指で挟み込むように装着した。測定はすべて閉眼状態で行なった。血圧、心拍数、HRV、皮膚温の測定を 1 セットとし、ベッド上仰臥位で 10 分安静後の測定値を「洗髪前安静時 (Rest Before Shampooing : RBS)」, 洗髪台に移動し、洗髪椅子に座位の状態 で 5 分安静後の測定値を「洗髪前 (Before Shampooing : BS)」, 上述した方法で洗髪を実施し、タオルドライ後洗髪椅子をファウラー位から座位に戻した直後の測定値を「洗髪後 (After Shampooing : AS)」, 立位でドライヤー整髪し、ベッド上仰臥位安静 10 分後の測定値を「洗髪後安静時 (Rest After Shampooing : RAS)」とした。

3) 心理指標

洗髪前後に VAS を用いて主観評価の調査を行ない、それぞれの測定値を、「洗髪前 VAS 値 (VAS - BS)」「洗髪後 VAS 値 (VAS - AS)」とした (Figure 3-1)。「快・不快 (Comfort)」「疲労感 (Fatigue)」「爽快感 (Refreshing)」「搔痒感 (Itching)」の 4 項目について、左端に「極めて不快」「極めて疲労」「極めて爽快でない」「痒みなし」、右端に「極めて快」「極めて楽」「極めて爽快」「極めて痒い」と記載された直線を用いた (Figure 3-2)。被洗髪者には、洗髪前後にこの 4 本の直線を提示し、直線

上の該当する部分に印をつけるよう指示した。



* Diagonal areas show that action is "Transfer" and position is "Standing".

Figure 3-1. Measurement procedure.

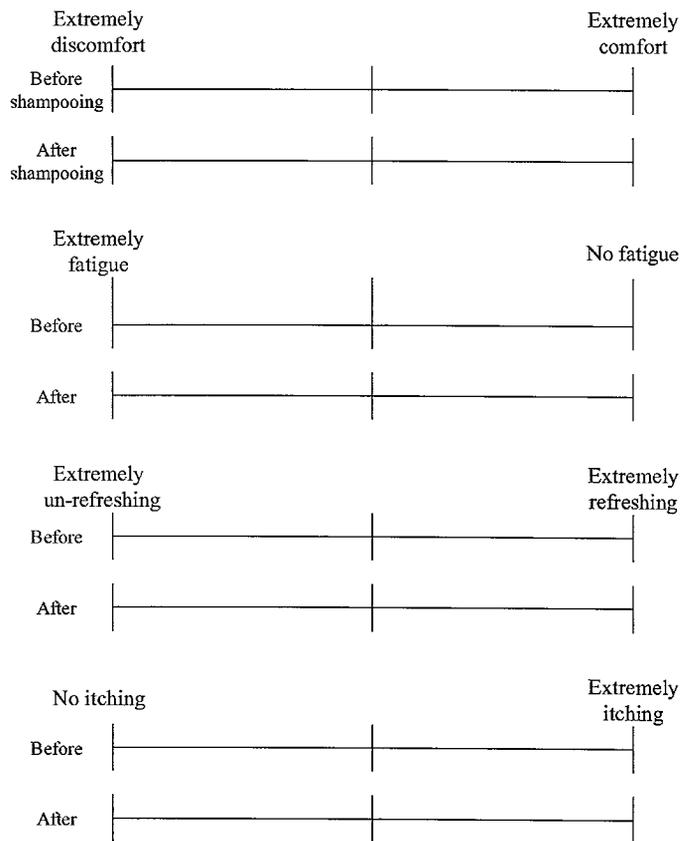


Figure 3-2. VAS scale.

2.3.1.3 分析方法

1) 洗浄指標

頭皮・頭髪ともに、4部位の ATP の平均値を各被洗髪者のデータとした。洗髪により減少した ATP の割合を明らかにするために、以下の式により洗浄度 (Cleanliness level) とした。洗浄度の値が高いほど、汚れが落ちていることを示す。

$$\text{洗浄度 (\%)} = \frac{(\text{洗髪前 ATP 値}) - (\text{洗髪後 ATP 値})}{\text{洗髪前 ATP 値}}$$

次に、洗髪前後の ATP の変化が有意であるかを検討するため、被洗髪者別・部位別に洗髪前後の比較を行なった。実測 ATP 値は分布のばらつきが大きいため、対数変換を行った。対数変換 ATP 値の正規性を確認し、洗髪前後の対数変換 ATP 値を用いて対応のある t 検定を行った。有意水準は 5 % とした。

2) 生理指標

HRV は測定したデータのうち、自律神経活動の指標として記録時間内の R-R 間隔の標準偏差値 (Standard Deviation of the RR Interval : SDNN)、副交感神経活動の指標として 0.15-0.4Hz の高周波成分 (High frequency : Hf)、交感神経と副交感神経を同時に反映する指標として 0.04-0.15Hz の低周波成分 (Low frequency : Lf)、自律神経バランスの指標として高周波成分と低周波成分の比 (Lf / Hf) を分析した。各測定値の洗髪前後の差については、ウィルコクソン符号付順位和検定を行い、有意水準は 5 % とした。

3) 心理指標

「快・不快」「疲労感」「爽快感」「搔痒感」の 4 項目について、「極めて不快」「極めて疲労」「極めて爽快でない」「痒みなし」を 0 点、「極めて快」「極めて楽」「極めて爽快」「極めて痒い」を 100 点とし、洗髪前後の VAS 値を点数化した。洗髪前後の差については、ウィルコクソン符号付順位和検定を行い、有意水準は 5 % とした。また、洗髪後 VAS 値を洗髪前 VAS 値と比べた VAS 値の変化率をもとめるため、以下の式より VAS の変化率をもとめた。

$$\text{VAS 変化率} = \frac{\text{洗髪前 VAS 値}}{\text{洗髪前 VAS 値}}$$

項目間の関連性と洗浄指標と心理指標の関連性については、スピアマンの順位相関係数を用いて検討し、有意水準は 5 % とした。

2.3.2 結果

2.3.2.1 洗浄指標

洗浄度の結果を Figure 3-3 に示す。被洗髪者 4 は頭髪の長さが 10 mm 未満であったため、頭髪の ATP 測定は行なっていない。洗浄度の平均値は頭皮で $31.0 \pm 44.9\%$ 、頭髪で $21.9 \pm 35.7\%$ であった。被洗髪者別の ATP 値の変化を Figure 3-4 に示す。グラフは 4 部位の平均値、エラーバーは標準偏差を示す。対数変換 ATP 値の平均値は、頭皮の洗髪前 ATP 値 (log) 9.36 ± 0.52 、洗髪後 ATP 値 (log) 8.76 ± 0.69 、頭髪の洗髪前 ATP 値 (log) 6.79 ± 0.53 、洗髪後 ATP 値 (log) 6.43 ± 0.58 であった。頭皮・頭髪ともに、洗髪後 ATP 値は洗髪前 ATP 値に比べ有意に減少していた ($p < 0.05$)。被洗髪者別にみると、洗髪後に頭皮の ATP 値が有意に減少したものは 9 名中 4 名であり、他 3 名にも減少傾向がみられた。頭髪の ATP 値は、8 名中 2 名は有意に減少し、他 4 名にも減少傾向がみられた。部位別の ATP 値の変化を Figure 3-5 に示す。グラフは 9 名 (8 名) の平均値、エラーバーは標準偏差を示す。洗髪後に頭皮の ATP 値が有意に減少した部位は、頭頂部、右側頭部、後頭部であった ($p < 0.05$)。頭髪の ATP 値は右側頭部のみ有意な減少がみられた ($p < 0.05$)。

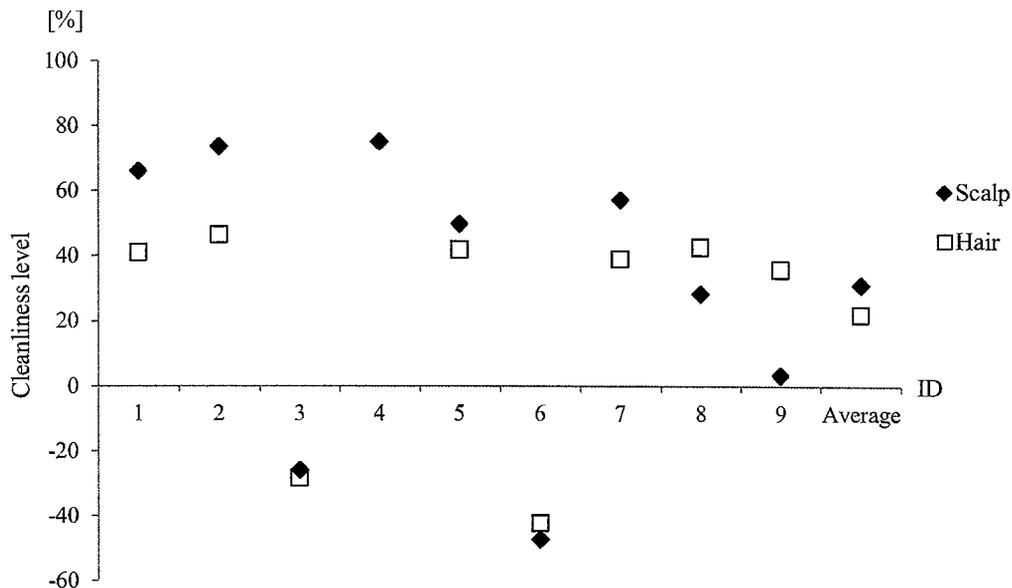
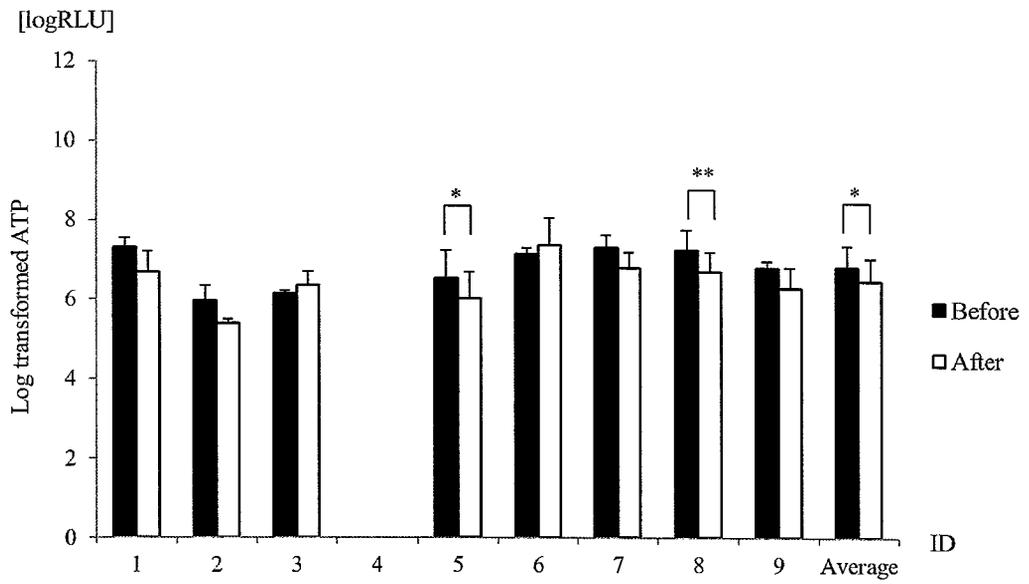
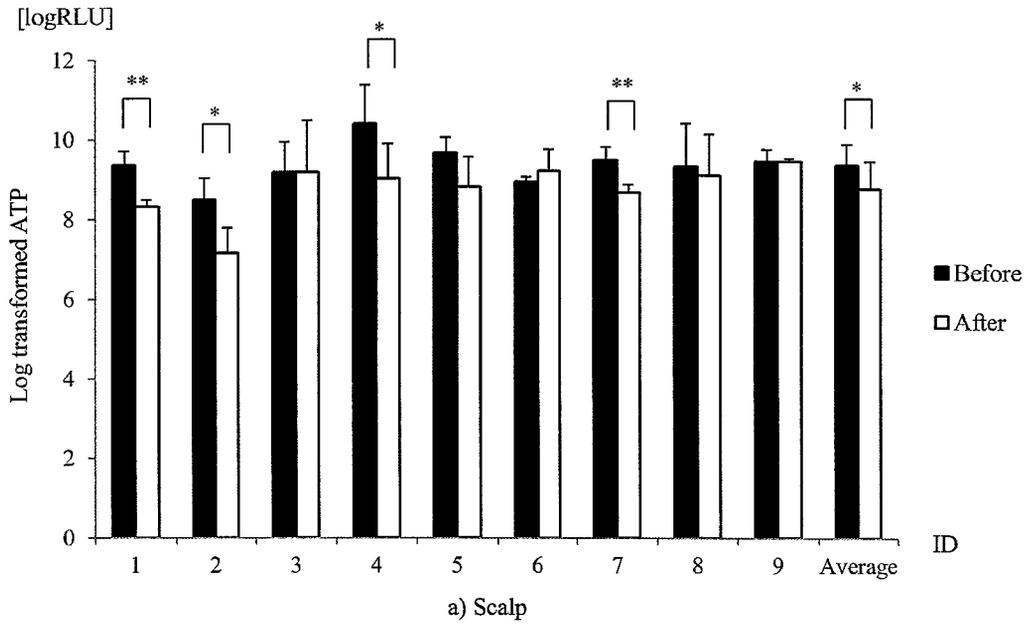


Figure 3-3. Result of cleanliness level.



The length of subject 4's hair was less than 10mm.

b) Hair

Figure 3-4. Results of log transformed ATP by subjects before and after shampooing. (Average \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

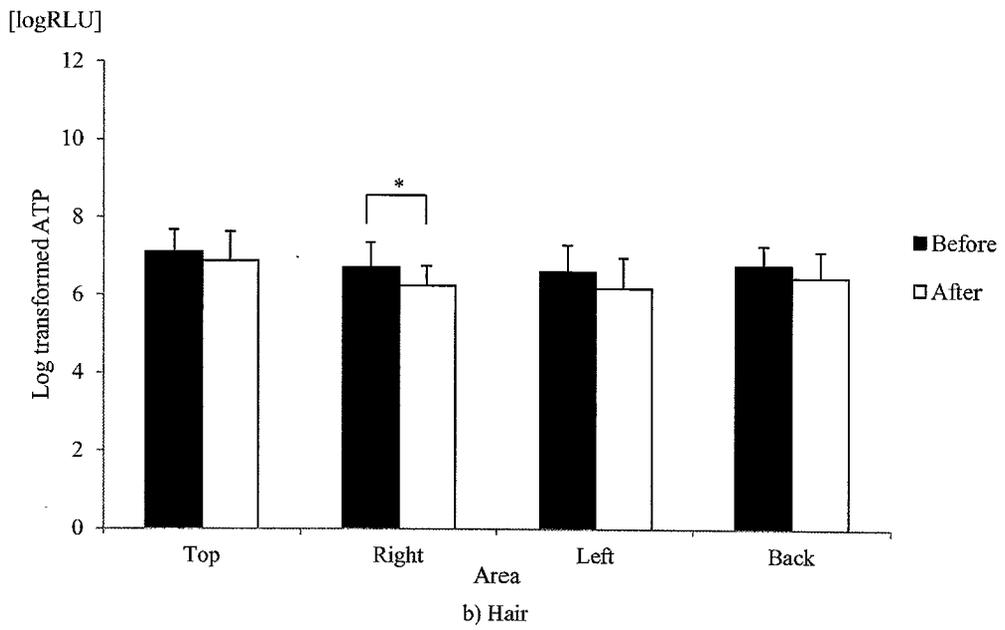
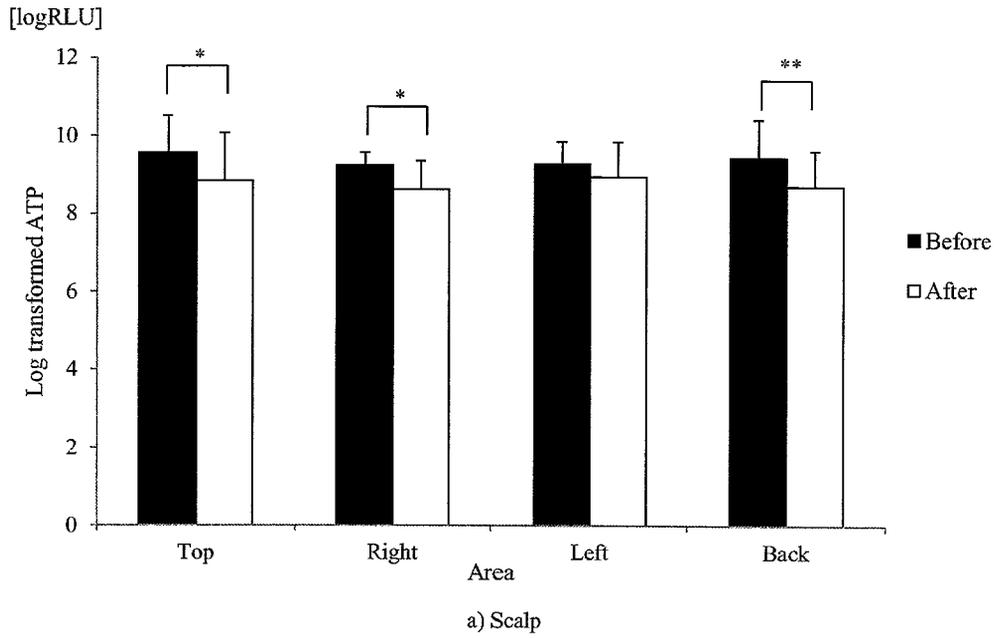


Figure 3-5. Results of log transformed ATP by areas before and after shampooing. (Average \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

2.3.2.2 生理指標

1) 血圧

洗髪前後の収縮期血圧と拡張期血圧の変化を Figure 3-6 に示す。収縮期血圧の平均値は、洗髪前安静時 108 ± 10.2 mmHg, 洗髪前 116 ± 11.5 mmHg, 洗髪後 116 ± 11.7 mmHg, 洗髪後安静時 106 ± 9.96 mmHg であった。拡張期血圧の平均値は、洗髪前安静時 67.8 ± 8.57 mmHg, 洗髪前 74.2 ± 9.16 mmHg, 洗髪後 76.3 ± 11.5 mmHg, 洗髪後安静時 69.7 ± 11.4 mmHg であった。収縮期血圧, 拡張期血圧ともに, 洗髪前は洗髪前安静時に比べ有意に増加した ($p < 0.05$) が, 洗髪前安静時と洗髪後安静時, 洗髪前と洗髪後の間に有意な差はみられなかった。

2) 心拍数

洗髪前後の心拍数の変化を Figure 3-6 に示す。心拍数の平均値は、洗髪前安静時 52.3 ± 7.11 bpm, 洗髪前 60.8 ± 9.51 bpm, 洗髪後 61.0 ± 8.66 bpm, 洗髪後安静時 51.8 ± 7.26 bpm であり, 洗髪前は洗髪前安静時に比べ有意に増加した ($p < 0.01$) が, 洗髪前安静時と洗髪後安静時, 洗髪前と洗髪後の間に有意な差はみられなかった。

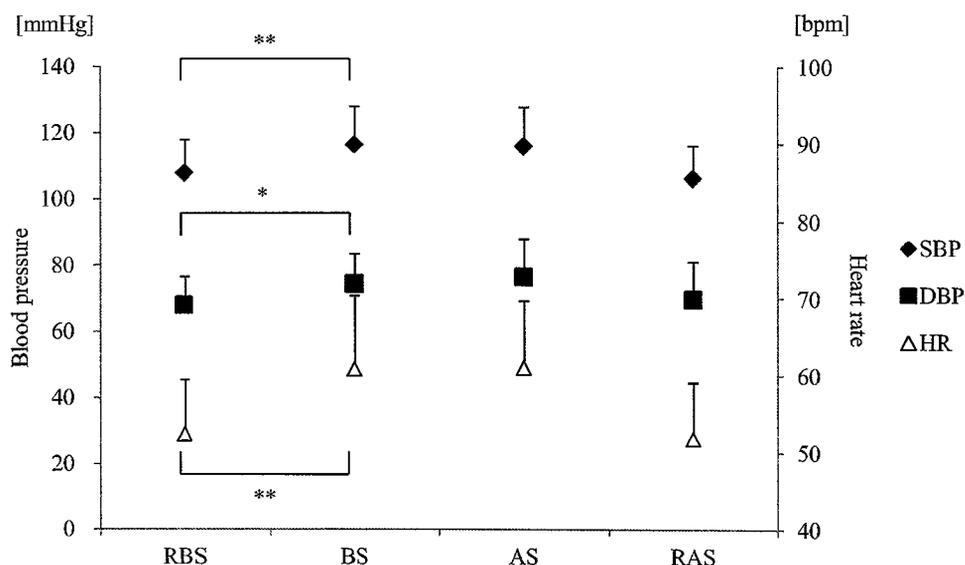


Figure 3-6. Results of Blood Pressure (BP) and Heart Rate (HR) before and after shampooing. (N=9, Average \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

3)HRV

洗髪前後の HRV の変化を Figure 3-7 に示す. SDNN の平均値は, 洗髪前安静時 64.6 ± 17.2 ms, 洗髪前 59.0 ± 19.4 ms, 洗髪後 55.3 ± 21.7 ms, 洗髪後安静時 80.6 ± 25.8 ms であった. Hf の平均値は, 洗髪前安静時 $(9.55 \pm 6.49) \times 10^2$ ms², 洗髪前 $(7.33 \pm 4.21) \times 10^2$ ms², 洗髪後 $(8.20 \pm 7.32) \times 10^2$ ms², 洗髪後安静時 $(11.7 \pm 4.12) \times 10^2$ ms² であった. Lf の平均値は, 洗髪前安静時 $(7.39 \pm 5.42) \times 10^2$ ms², 洗髪前 $(13.1 \pm 13.6) \times 10^2$ ms², 洗髪後 $(10.4 \pm 12.0) \times 10^2$ ms², 洗髪後安静時 $(15.7 \pm 10.4) \times 10^2$ ms² であった. Lf/Hf の平均値は, 洗髪前安静時 1.07 ± 0.91 , 洗髪前 1.51 ± 0.85 , 洗髪後 1.32 ± 1.04 , 洗髪後安静時 1.52 ± 0.96 であった. すべての指標において, 洗髪前安静時と洗髪後安静時, 洗髪前安静時と洗髪前, 洗髪前と洗髪後の間に有意な差はみられなかった.

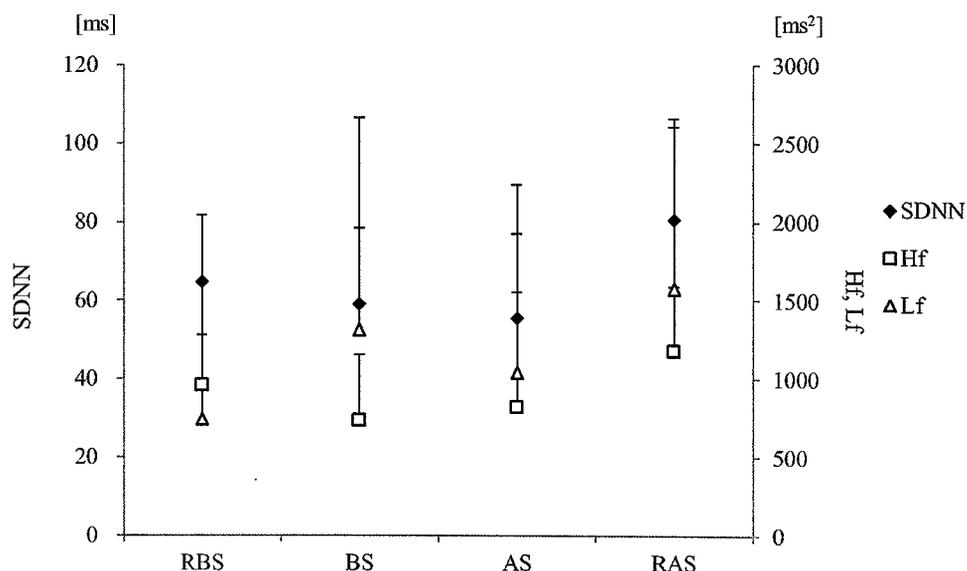


Figure 3-7. Results of Heart Rate Variability (HRV) before and after shampooing. (N=9, Average \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

4) 皮膚温

洗髪前後の皮膚温の変化を Figure 3-8 に示す。皮膚温の平均値は、洗髪前安静時 31.7 ± 4.64 度、洗髪前 32.0 ± 3.68 度、洗髪後 32.5 ± 2.73 度、洗髪後安静時 32.4 ± 2.98 度であり、洗髪前安静時と洗髪後安静時、洗髪前安静時と洗髪前、洗髪前と洗髪後の間に有意な差はみられなかった。

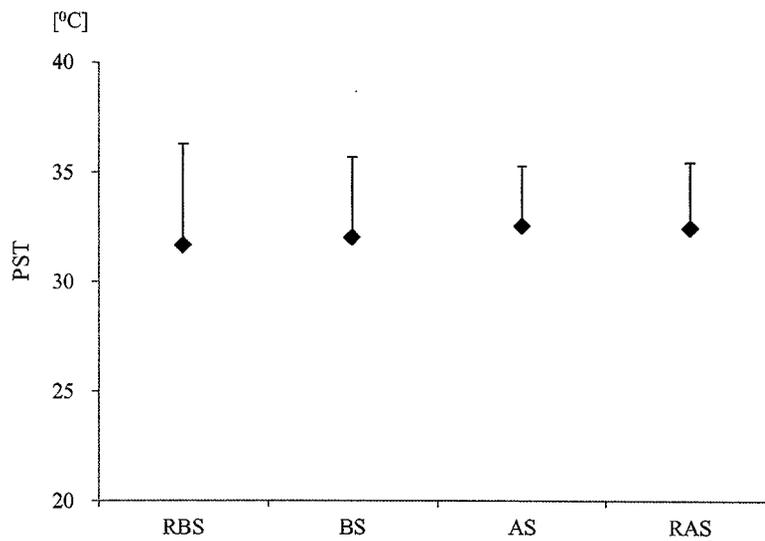


Figure 3-8. Results of Peripheral Skin Temperature (PST) before and after shampooing. (N=9, Average \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

2.3.2.3 心理指標

洗髪前後の VAS 値の変化を Figure 3-9 に示す。実測 VAS 値の平均値は、「快・不快」は洗髪前 52.1 ± 24.6 点、洗髪後 74.7 ± 21.2 点、「疲労感」は洗髪前 74.0 ± 22.9 点、洗髪後 66.7 ± 29.7 点、「爽快感」は洗髪前 41.3 ± 32.7 点、洗髪後 84.1 ± 23.6 点、「掻痒感」は洗髪前 39.2 ± 27.5 点、洗髪後 11.0 ± 18.3 点であった。「快・不快」「疲労感」は洗髪前後に有意な差はみられなかったが、「爽快感」は洗髪後有意に上昇し、「掻痒感」は有意に減少した ($p < 0.05$)。項目間の関連性については、洗髪前は「快・不快」と「爽快感」($r = 0.83$)、「爽快感」と「掻痒感」($r = -0.72$)に、洗髪後は「疲労感」と「爽快感」($r = 0.74$)、「疲労感」と「掻痒感」($r = -0.73$)、「爽快感」と「掻痒感」($r = -0.91$)に相関がみられた ($p < 0.05$)。VAS 変化率は、「快・不快」2.08、「疲労感」1.05、「爽快感」5.85、「掻痒感」0.50 であった。VAS 変化率での各項目間の相関はみられなかった。洗髪前の実測 ATP 値と実測 VAS 値との相関係数は「快・不快」が $r = 0.13$ 、「爽快感」が $r = 0.26$ 、「掻痒感」が $r = -0.17$ 、洗髪後の実測 ATP 値と実測 VAS 値との相関係数は「快・不快」が $r = -0.10$ 、「爽快感」が $r = -0.14$ 、「掻痒感」が $r = -0.01$ であり、それぞれ実測 ATP 値と実測 VAS 値の間には洗髪前後ともに相関がみられなかった。洗浄度と VAS 変化率との相関係数は「快・不快」が $r = -0.35$ 、「疲労感」が $r = -0.28$ 、「爽快感」が $r = -0.76$ 、「掻痒感」が $r = -0.03$ であり、洗浄度と「爽快感」にのみ負の相関がみられた ($p < 0.05$)。

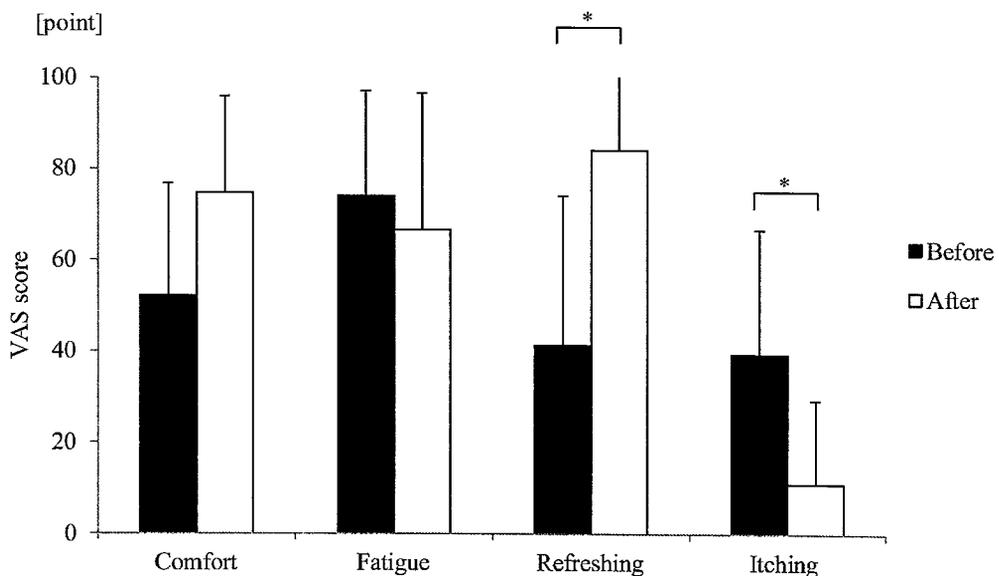


Figure 3-9. Results of VAS score before and after shampooing. (N=9, Average ± SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

2.3.3 考察

本節では、2節で設定した評価指標を用いてヒトによる洗髪洗净効果、身体的負担、リラクゼーション効果の評価を行い、評価指標の妥当性とヒトによる洗髪効果を検討した。

洗髪による洗净効果を定量的に評価するため、頭部に付着する ATP を「汚れ」としたところ、洗髪後に頭皮の汚れが 31 %、頭髪の汚れが 22 % 減少していることがわかった。本研究での結果を先行研究と比較するため、報告されている測定値から洗净度を求めたところ、頭皮のトリグリセリドは約 45 %、頭皮の遊離脂肪酸は約 85 % [28,29,31]、頭髪細菌は約 45 % 減少していた [3]。本研究での頭髪の洗净度が、過去の報告に比べて低くなっているが、本実験方法は整髪時のタオルや手、仰臥位時のシーツのように、洗髪後に他の物から頭髪に ATP が移行する機会が多かったことが一因と考えられる。加えて、ATP 法は皮脂、常在菌、落屑、ほこりなど頭部に付着しているものをまとめて測定するため、それぞれ単体でみた結果より洗净度が低くなる可能性がある。しかしながら、洗髪は頭部の付着物を総合的に取り除くことを目的としているため、ATP 法を用いて洗净効果を評価することは妥当であると考えられる。よって、ATP 法を用いることにより迅速、簡便、非侵襲な方法を用いて、洗净効果を評価することができたと言える。

被洗髪者ごとに ATP 値の前後変化をみたところ、頭皮・頭髪ともに洗髪後に ATP 値の減少傾向がみられたが、統計的に有意に減少したものは被洗髪者の半数以下であった。要因として、4 部位の平均値を個人のデータとしているため、部位ごとのばらつきが大きく、洗髪後に値は減少したものの有意な差までは得られなかったと考えられる。部位ごとに前後変化をみたところ、頭皮は左側頭部を除く 3 部位で ATP 値の有意な減少がみられた。今回実験で使用した洗髪台は、洗髪者が被洗髪者の左側に立って洗髪を行うものであった。洗髪者にとって手前側になる被洗髪者の左側頭部は他の部位に比べ、比較的洗いにくい部位であったと考えられる。実験後、「左側が洗いにくい」という意見が洗髪者・被洗髪者ともに聞かれており、実際に左側頭部は十分に洗えておらず、その結果が ATP 法により明らかになった可能性を示唆している。洗髪後に ATP 値が上昇したデータは全データのうち 23.5 % あった。中野らの報告でも、9 名中 3 名は洗髪後に ATP 値が上昇しており、洗髪により毛根に付着していた汚れが皮膚表面へ浮上したことによるのではないかと述べている [35]。工藤らも、洗髪後に頭髪の細菌が増加した被験者が 37.5 % いたと報告しており [3]、ATP に限らず洗髪後に汚れが増加する可能性は十分に考えられる。しかし、洗髪後の汚れ

の増加が、皮膚表面へ浮上であるか、洗い残しであるか、などに原因により洗髪の改善方法が異なるため、今後明らかにしていく必要がある。

VASによる主観的評価を行った結果、洗髪により「爽快感」が有意に増し、「搔痒感」が有意に減少していた。この結果は、先行研究の結果と一致している。洗髪前後ともに「爽快感」と「搔痒感」に相関がみられたことから、爽快であることと痒みが少ない、もしくは痒みがないこと、が同義に捉えられていることが考えられる。つまり搔痒感を取り除くことにより爽快感が増すといえる。しかし、洗浄度とVAS変化率の「爽快感」には負の相関がみられていた。洗浄度に関わらず、洗髪により得られる「爽快感」が心理面に与える影響は大きいことが示唆された。定量化した汚れである実測ATP値と定性化した汚れであるVAS値を比較したところ、洗髪前後ともに各値に相関は見られず、実際の汚れの程度とヒトが感じる汚れの程度は異なることがわかった。主観的な不快感や搔痒感は個人差が大きいことが報告されており、実測ATP値のみからそれらを推測することは難しいことが示唆された。VASを用いることにより、心理指標間の関連や定量化した汚れと定性化した汚れの関連を示すことができた。

洗髪前後の生理指標の変化を検討したところ、有意な変化はみられなかった。生理指標が安定していたことから、身体的負担を与える大きな変動はないことが示唆された。仰臥位またはファウラー位での洗髪は身体的負担が少ないことはすでに報告されており[16-21]、その結果と一致しているといえる。収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数は洗髪前安静時に比べ洗髪前で高値を示したが、洗髪後安静時には低下していた。これは、仰臥位から座位に体位が変わったことによるものであると考えられる。先行研究では、洗髪によるリラクゼーション効果を示したものがある[1,2,14,15]。リラクゼーションによる生理指標への影響として、血圧・心拍数の低下、筋緊張の低下、交感神経活動の低下、副交感神経活動の亢進、血流量の増加による皮膚温の上昇などがいわれているが、本実験ではこのような変化はみられなかった。VASの結果で「快・不快」や「疲労感」が洗髪前の時点で高値を示しており、洗髪後もほぼ変化がなかった。洗髪前の被洗髪者の状態が比較的良好だったことが考えられる。また、実験後のインタビューで「後頭部洗髪時頭を上げる動作が気を遣う」「洗髪時の体勢が辛い」という意見が半数以上あったことから、被洗髪者が後頭部洗髪時に体を動かさなければならなかったことがリラクゼーション効果を阻害した可能性が考えられる。

2.3.4 まとめ

本節では、設定した評価指標を用いてヒトによる洗髪洗净効果、身体的負担、リラクゼーション効果の評価を行い、評価指標の妥当性とヒトによる洗髪効果を明らかにした。

頭部に付着する ATP の量を汚れとしたところ、洗髪により頭皮の汚れが 31 %、頭髪の汚れが 22 %減少した。ヒトが感じる汚れと ATP の量に相関はみられなかった、洗净度に関わらず、洗髪により爽快感が得られることがわかった。また洗髪による生理反応への大きな変化はみられず、リラクゼーション効果は得られなかったものの、身体的負担を与える大きな変動はないことが示唆された。本評価指標により得られた結果を、先行研究と比較したところ同様の結果が得られ、評価指標の妥当性が示された。それらに加え、洗髪による頭皮の汚れ（身体的不快感）の変化と、その変化が生理・心理反応に及ぼす影響を客観的な指標と主観的な指標合わせて明らかにすることができ、有用な評価指標であることが示された。以上のことから、洗髪洗净効果、身体的負担、リラクゼーション効果を統合的に評価する有用な指標を設定し、その指標を用いてヒトによる洗髪効果の基礎データを提示することができたと考えられる。

2.4 洗髪ロボットによる洗髪効果の検討

本節では、3節と同じ評価指標を用いて Panasonic 株式会社が開発した洗髪ロボットによる洗髪の洗浄効果、身体的負担、リラクゼーション効果の評価を行う。

2.4.1 方法

2.4.1.1 実験条件

1) 対象

対象は口頭、書面にて本研究の主旨を説明し、理解・同意が得られた健常者9名（男性4名、女性5名）とした。対象者の平均年齢は 26.0 ± 6.46 歳、身長は 166 ± 10.0 cm、体重は 56.9 ± 7.88 kg であった。髪型は、頭髪の長さが 400 mm 以下のセミロングヘアまでを対象とし、平均 290 ± 61.6 mm であった。対象者への指示は3節の方法に準拠する。なお、本研究については大阪大学保健学科倫理委員会（No. 231）の承認を得ている。

2) 環境

室温 20.4 ± 2.5 度、湿度 50 ± 10 %の安定した環境で実験を行なった。

3) 洗髪方法

洗髪は、洗髪ロボット（プロト 0）（Figure 4-1）を用いて行った（参照：<http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/jn100924-1/jn100924-1.html>）。洗髪ロボットの操作は専門技術者が行い、被洗髪者は洗髪ロボット専用バイザーを装着した。洗髪ロボットによる洗髪は、頭部形状のセンシング、下洗い、シャンプー・マッサージ洗い、すすぎという4段階に分かれており、すべて自動で行われる。3節の方法と洗髪時間を統一するため、下洗い1分、シャンプー・マッサージ洗い2分、すすぎ1分30秒に設定した。洗髪時の体位は、ファウラー位で行い、使用するシャンプー剤、シャンプー剤の量（10 ml / 1名）はヒトによる洗髪（3節）と統一した。



Figure 4-1. Hair-washing robot.

2.4.1.2 測定方法

3節に準拠する。

2.4.1.3 分析方法

3節に準拠する。

2.4.2 結果

2.4.2.1 洗浄指標

洗浄度の結果を Figure 4-2 に示す。洗浄度の平均値は、頭皮で $15.8 \pm 51.6\%$ 、頭髪で $28.3 \pm 83.3\%$ であった。被洗髪者別の ATP 値の変化を Figure 4-3 に示す。グラフは4部位の平均値、エラーバーは標準偏差を示す。対数変換 ATP 値の平均値は、頭皮の洗髪前 ATP 値 (log) 8.91 ± 0.93 、洗髪後 ATP 値 (log) 8.56 ± 0.67 、頭髪の洗髪前 ATP 値 (log) 6.57 ± 0.85 、洗髪後 ATP 値 (log) 5.93 ± 0.58 であった。頭髪の洗髪後 ATP 値は洗髪前 ATP 値に比べ有意に減少していた ($p < 0.05$) が、頭皮の ATP 値は有意な変化がみられなかった。被洗髪者別にみると、洗髪後に頭皮の ATP 値が有意に減少したものは9名中2名であり、他5名にも減少傾向がみられた。頭髪の ATP 値は、9名中2名が有意に減少し、他6名にも減少傾向がみられた。部位別の ATP 値の変化を Figure 4-4 に示す。グラフは9名(8名)の平均値、エラーバーは標準偏差を示す。洗髪後に頭皮の ATP 値が有意に減少した部位は、右側頭部のみであった ($p < 0.01$)。頭髪の ATP 値は右側頭部と後頭部で有意な減少がみられた ($p < 0.05$)。

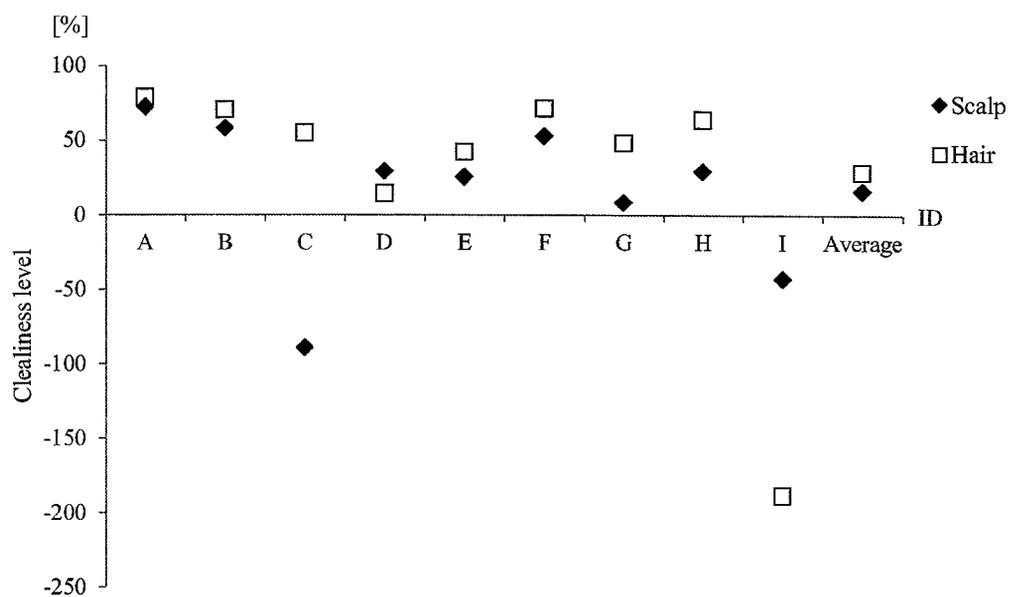


Figure 4-2. Result of cleanliness level.

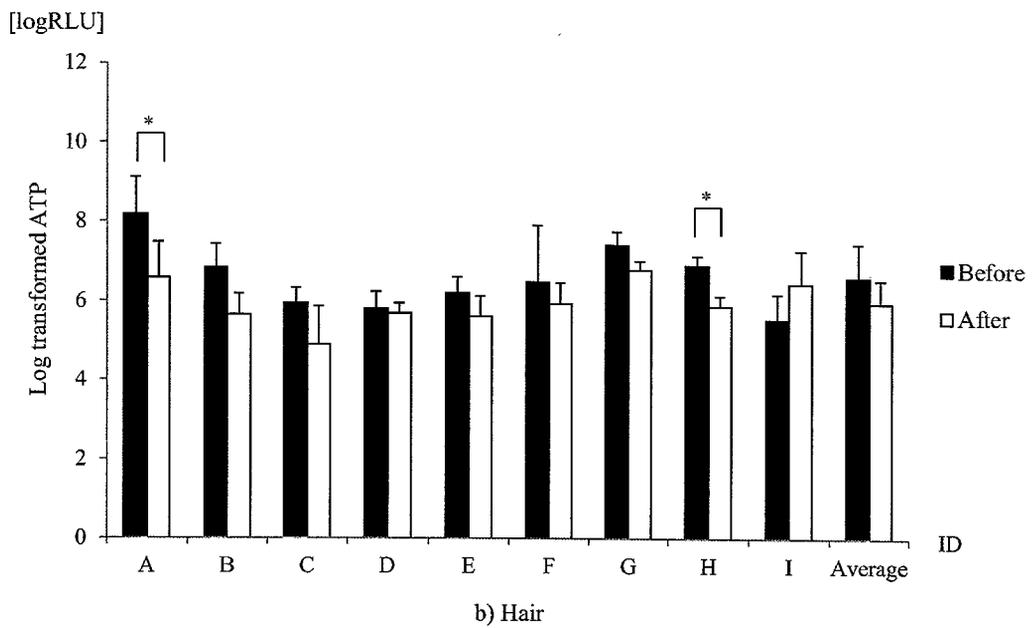
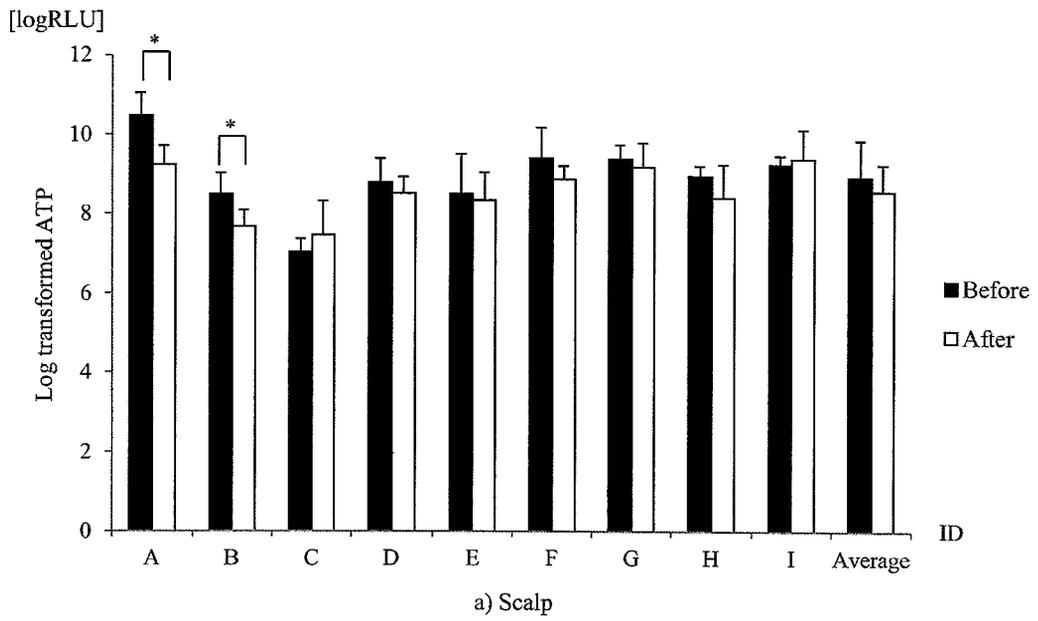


Figure 4-3. Results of log transformed ATP before and after shampooing. (Average \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

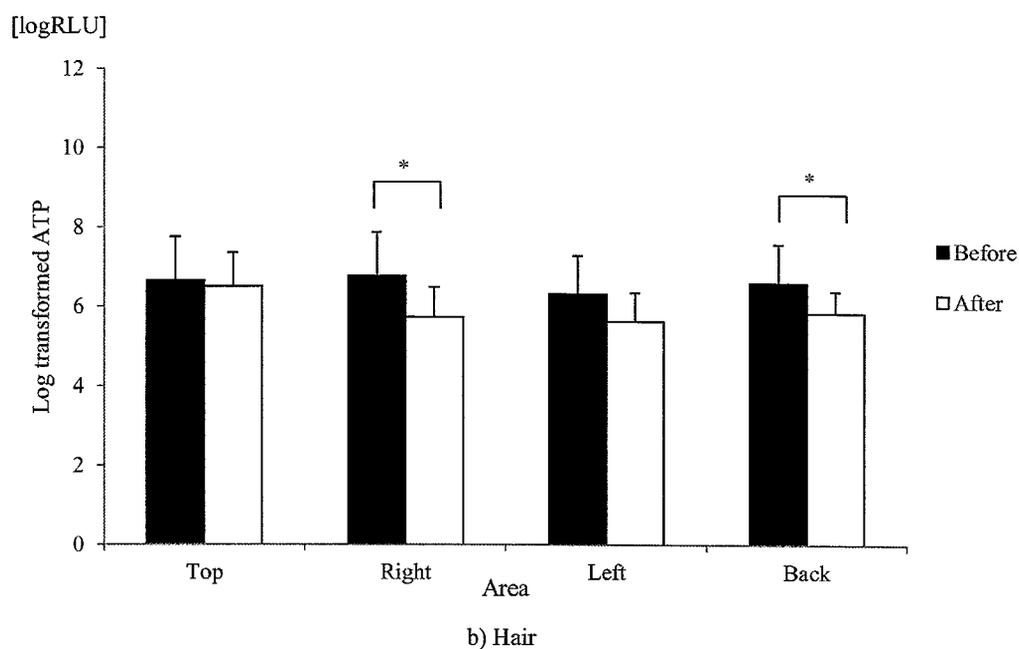
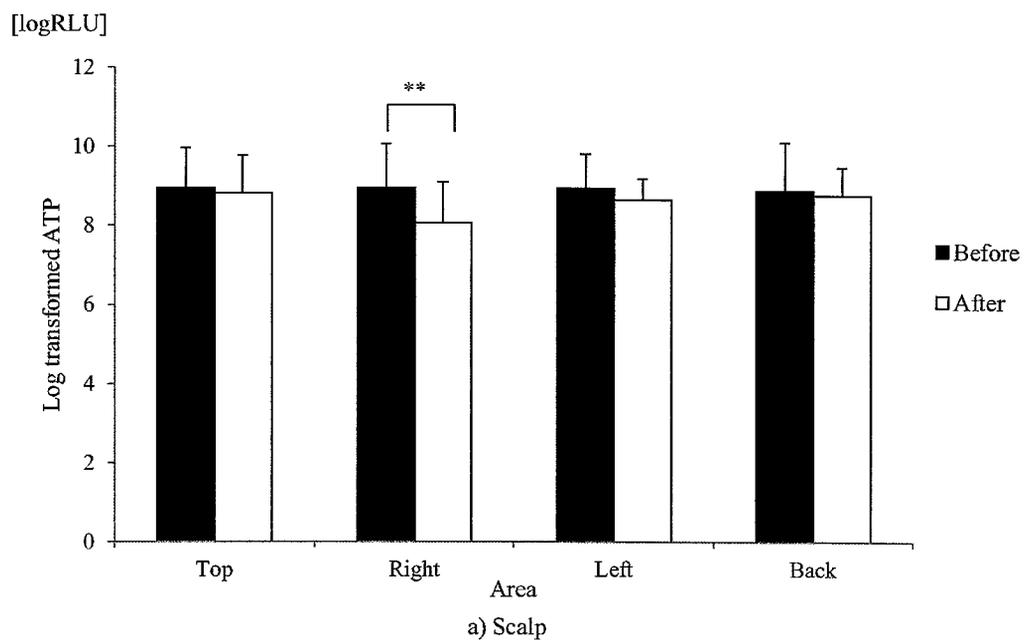


Figure 4-4. Results of log transformed ATP by areas before and after shampooing. (Average \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

2.4.2.2 生理指標

1) 血圧

洗髪前後の収縮期血圧と拡張期血圧の変化を Figure 4-5 に示す。収縮期血圧の平均値は、洗髪前安静時 108 ± 8.49 mmHg, 洗髪前 111 ± 8.70 mmHg, 洗髪後 114 ± 7.30 mmHg, 洗髪後安静時 103 ± 6.58 mmHg であった。拡張期血圧の平均値は、洗髪前安静時 70.3 ± 9.56 mmHg, 洗髪前 71.9 ± 6.83 mmHg, 洗髪後 75.9 ± 7.74 mmHg, 洗髪後安静時 69.8 ± 9.66 mmHg であった。収縮期血圧は統計的に有意な差はみられなかったが、洗髪前は洗髪前安静時に比べ上昇し、洗髪後安静時は洗髪前安静時に比べ低下する傾向がみられた。拡張期血圧は、洗髪前に比べ洗髪後に有意に増加した ($p < 0.05$) が、洗髪前安静時と洗髪後安静時に変化はみられなかった。

2) 心拍数

洗髪前後の心拍数の変化を Figure 4-5 に示す。心拍数の平均値は、洗髪前安静時 65.0 ± 3.38 bpm, 洗髪前 67.4 ± 5.21 bpm, 洗髪後 65.8 ± 4.33 bpm, 洗髪後安静時 59.9 ± 1.96 bpm であり、洗髪後安静時は洗髪前安静時に比べ有意に低下した ($p < 0.01$)。

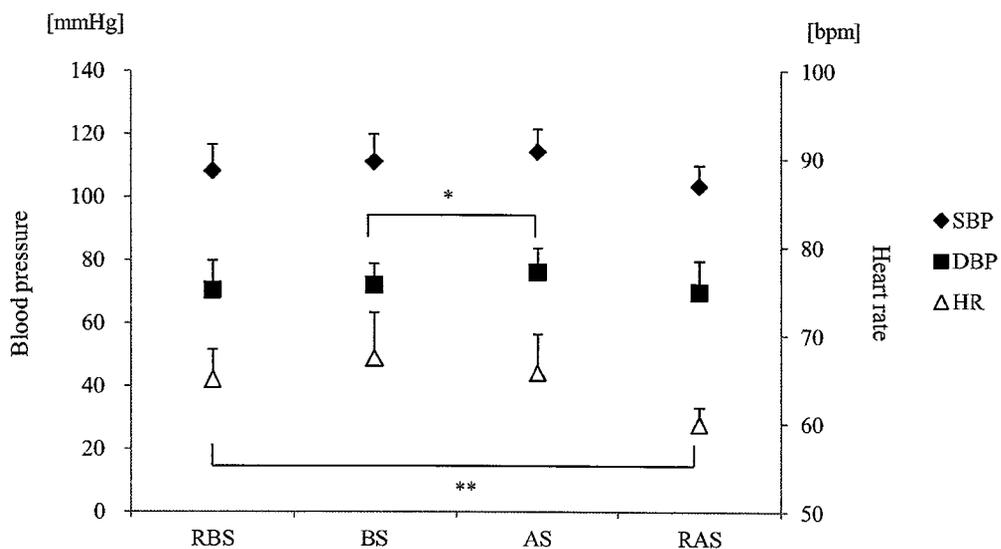


Figure 4-5. Results of Blood Pressure (BP) and Heart Rate (HR) before and after shampooing. (N=9, Average \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

3)HRV

洗髪前後の HRV の変化を Figure 4-6 に示す。SDNN の平均値は、洗髪前安静時 52.0 ± 8.70 ms, 洗髪前 50.1 ± 8.94 ms, 洗髪後 53.1 ± 11.6 ms, 洗髪後安静時 58.4 ± 11.6 ms であった。Hf の平均値は、洗髪前安静時 955 ± 704 ms^2 , 洗髪前 450 ± 199 ms^2 , 洗髪後 403 ± 206 ms^2 , 洗髪後安静時 679 ± 283 ms^2 であった。Lf の平均値は、洗髪前安静時 484 ± 345 ms^2 , 洗髪前 603 ± 493 ms^2 , 洗髪後 591 ± 830 ms^2 , 洗髪後安静時 823 ± 796 ms^2 であった。Lf/Hf の平均値は、洗髪前安静時 0.70 ± 0.72 , 洗髪前 1.20 ± 0.70 , 洗髪後 2.30 ± 4.18 , 洗髪後安静時 1.30 ± 1.55 であった。SDNN, Hf, Lf は、洗髪前安静時と洗髪後安静時, 洗髪前安静時と洗髪前, 洗髪前と洗髪後の間に有意な差はみられなかった。Lf/Hf のみ, 洗髪前は洗髪前安静時に比べ有意に増加した ($p < 0.01$)。

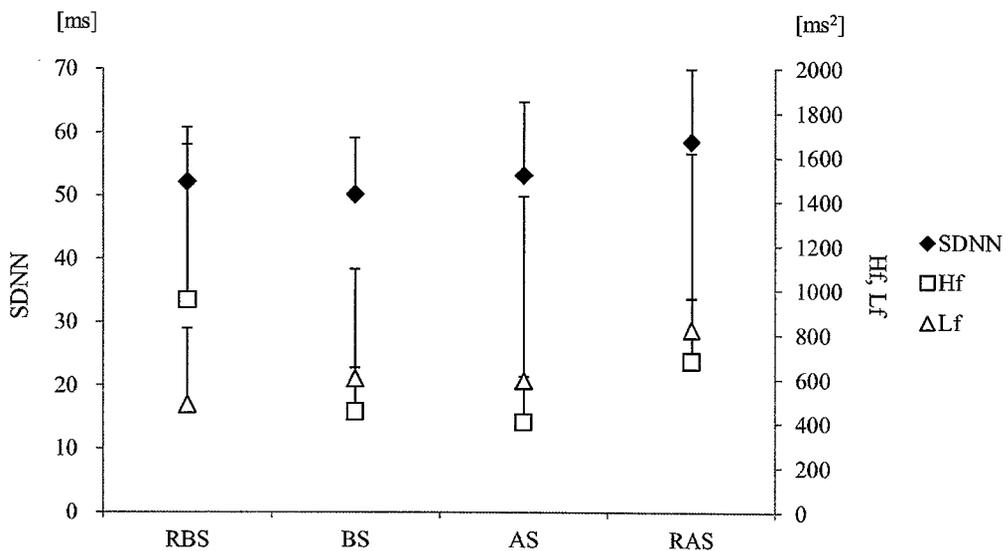


Figure 4-6. Results of Heart Rate Variability (HRV) before and after shampooing. (N=9, Average \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

4) 皮膚温

洗髪前後の皮膚温の変化を Figure 4-7 に示す。皮膚温の平均値は、洗髪前安静時 27.2 ± 7.89 度、洗髪前 26.6 ± 8.37 度、洗髪後 27.4 ± 8.18 度、洗髪後安静時 27.7 ± 7.33 度であり、洗髪前は洗髪前安静時に比べ有意に下降した ($p < 0.01$)。

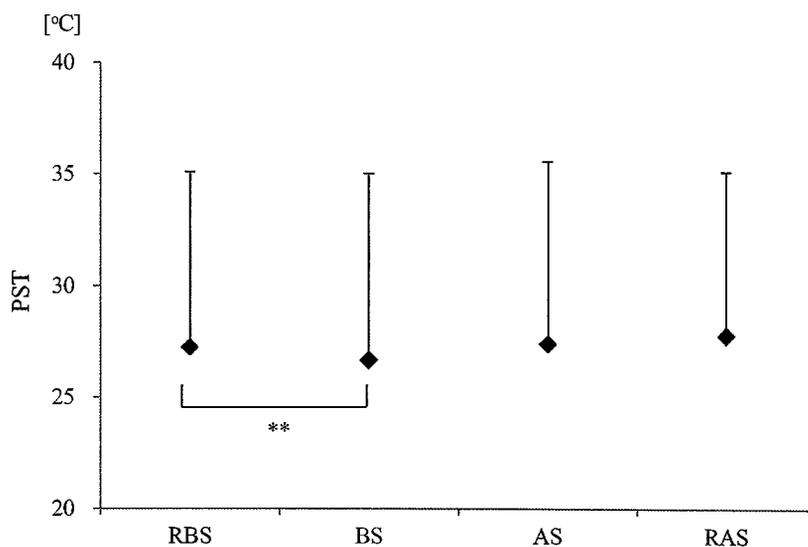


Figure 4-7. Results of Peripheral Skin Temperature (PST) before and after shampooing. (N=9, Average \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

2.4.2.3 心理指標

洗髪前後の VAS 値の変化を Figure 4-8 に示す。実測 VAS 値の平均値は、「快・不快」は洗髪前 55.6 ± 21.7 点、洗髪後 67.8 ± 18.5 点、「疲労感」は洗髪前 57.5 ± 21.1 点、洗髪後 76.3 ± 17.4 点、「爽快感」は洗髪前 46.6 ± 21.7 点、洗髪後 69.6 ± 17.4 点、「掻痒感」は洗髪前 22.6 ± 26.0 点、洗髪後 8.88 ± 14.8 点であった。「快・不快」「疲労感」「掻痒感」は洗髪前後に有意な差はみられなかったが、「爽快感」は洗髪後有意に上昇した ($p < 0.01$)。項目間の関連性について統計的に有意な差はみられなかったが、洗髪前は「疲労感」と「爽快感」($r = 0.56$)、洗髪後は「快・不快」と「爽快感」($r = 0.56$)、「快・不快」と「掻痒感」($r = -0.66$) に弱い相関がみられた。VAS 変化率は、「快・不快」1.42 ± 0.68、「疲労感」1.51 ± 0.76、「爽快感」1.66 ± 0.48、「掻痒感」0.59 ± 0.40 であった。VAS 変化率での項目間の相関は「疲労感」と「爽快感」($r = 0.74$) のみにみられた ($p < 0.05$)。実測 ATP 値と実測 VAS 値との間には洗髪前後ともに相関がみられなかった。洗浄度と VAS 変化率との相関係数は「快・不快」が $r = -0.09$ 、「疲労感」が $r = 0.14$ 、「爽快感」が $r = 0.60$ 、「掻痒感」が $r = -0.89$ であり、洗浄度と「掻痒感」には有意な負の相関が ($p < 0.01$)、洗浄度と「爽快感」には正の弱い相関がみられた。

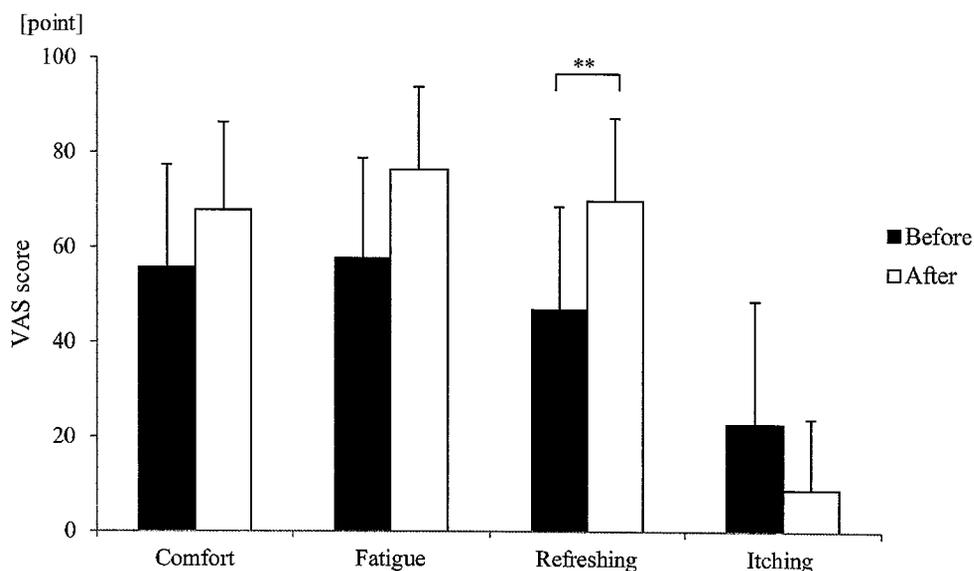


Figure 4-8. Results of VAS score before and after shampooing. (N=9, Average ± SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

2.4.3 考察

本節では、3節と同じ評価指標を用いて洗髪ロボットによる洗髪の洗浄効果、身体的負担、リラクゼーション効果の評価を行った。

洗浄効果については、洗髪後に頭皮の汚れが16%、頭髪の汚れが28%減少しており、頭髪のみ前後で有意な差が得られた。部位ごとに前後変化をみたところ、頭皮・頭髪ともに右側頭部はATP値の有意な減少がみられた。洗髪前後で、頭皮のATP値に有意な差が得られなかった要因として、洗髪ロボット側の要因と被洗髪者側の要因が考えられる。本実験で使用した洗髪ロボットはロボットアームの動きが制限されており、頭頂部を含む一部の領域で接触子が頭皮（頭髪も含む）に直接触れない部分があった（その領域は被洗髪者の頭部形状により異なる）。そのため、洗浄されない領域があったと考えられる。また、右側頭部と左側頭部で洗浄効果に差がみられたことや、頭皮より頭髪に洗浄効果が高かったことから、洗髪ロボットの接触子と頭部との密着度に影響があったと考えられる。洗髪ロボットは、始めにスキャンした頭部の形状に合わせてロボットアームの動きが制御されているが、洗髪中の被洗髪者の動きなどにより接触子と頭部の密着度が変化し、接触子が頭皮に十分密着していなかった可能性が考えられる。もしくは、頭部の形状は人によりさまざまであるため、すべての形状にロボットアームが対応していない可能性がある。このように、洗浄指標から推測される未洗浄領域に加え、バイザー装着により耳の後ろや髪の生え際も洗浄ができない領域である。これらは痒みの訴えが多い領域でもあり、洗髪されないことにより洗髪後「掻痒感」が有意に減少しなかった可能性が考えられる。今後、洗髪ロボットのロボットアーム可動域・洗髪可能エリアの拡充、被験者の体動への追従機能の改善、さまざまな頭部形状への適応が望まれる。被洗髪者側の要因としては、洗髪前のATP値が比較的低かったことが挙げられる。本実験は、前回の洗髪から1日あけて行ったが、冬であったこともあり、洗髪前の時点で頭部の汚染度が低かった可能性がある。VASの洗髪前「快・不快」「爽快感」「掻痒感」の結果から、被洗髪者自身も汚れを感じていない傾向にあった。中野らも10000RLUを汚れの目安としており、洗髪前の汚れが少ない場合、洗髪により毛根に付着していた汚れが皮膚表面へ浮上し、汚れが増加する可能性があるとして述べている[35]。本実験でも、洗髪後にATP値が上昇したデータは全データのうち17.6%あり、それらはすべて洗髪前のATP値が10000RLU以下であった。正確な洗浄度を求めるためには、実験前のATP値を10000RLU以上に限定する、もしくは前回洗髪日と実験日の間隔を長くする必要があると考える。ただこのように洗浄効果があまり高くない場合でも、洗髪後に「爽快

感」は増加しており、洗髪が「爽快感」に与える影響の大きさを示しているといえる。

ATP 値と VAS 値との関係については、洗浄度と「搔痒感」、洗浄度と「爽快感」に相関がみられており、ATP の減少率が高いほど搔痒感が減少し、爽快感が増加するといえる。VAS の項目間の関係については、「疲労感」と「爽快感」に相関がみられたことから、「楽である」つまり身体の負担が少ないことと、爽快であることが同義に捉えられていることが示唆された。以上のことから、洗浄効果が高く、身体的負担の少ない洗髪方法を提案することにより、より爽快な洗髪ケアを行うことができると考えられる。

洗髪による生理反応の変化には2つの特徴がみられた。1つは洗髪前安静時から洗髪前への変化、もう1つは洗髪前安静時から洗髪後安静時への変化である。洗髪前は洗髪前安静時に比べ、Lf/Hfが増加し、末梢皮膚温が低下した。3節でも述べたように、リラクゼーション効果による生理指標への影響として、血圧・心拍数の低下、筋緊張の低下、交感神経活動の低下、副交感神経活動の亢進、血流量の増加による皮膚温の上昇などがいわれており、この変化はリラクゼーション効果とは逆の反応である。一方、洗髪後安静時は洗髪前安静時に比べ、血圧と心拍数の低下がみられた。これは、リラクゼーション効果を示している。前者は、仰臥位から座位に体位が変わったことが影響している可能性もあるが、被験者の心理変化が一因ではないかと考える。被験者は、本実験で初めて洗髪ロボットを体験した。実験前に、被験者から「楽しみ」「不安」という両意見が聞かれており、洗髪前測定時に初めて洗髪ロボットに座ったことにより、興奮状態もしくは不安状態になったことが考えられる。洗髪実施後の生理反応は、身体の負担を示す大きな変化がなく、リラクゼーション方向に向かっていることから、洗髪ロボットによる洗髪のリラクゼーション効果がうかがえる。リラクゼーションの効果が得られた要因としては、洗髪前の興奮もしくは不安状態からの解放が考えられる。データには示していないが、実験前にVASを用いて「実験後を想定した主観評価」を行ったところ、統計的に有意な差はみられなかったが、すべての項目（「快・不快」「疲労感」「爽快感」「搔痒感」）において実験後（体験後）の方が高得点を示していた。被洗髪者別にみると、実験後の方が高得点を示したのは「快・不快」7名、「疲労感」6名、「爽快感」7名、「搔痒感」3名であった。このことから、被験者にとって洗髪ロボットによる洗髪は「思っていたより快適、楽、爽快であった」と好印象を感じていることが考えられる。実験後のインタビューにより、「洗われているよりマッサージのようであった」という意見が半数以上あり、洗髪時の接触子の動きや圧力がマッサージ様の効果を示しリラクゼーション効果が得られた可能性がある。ロボットに対する心理変化を除去するためにも、実験前に洗

髪ロボットを体験してもらい、その後実験を行う必要があると考える。

2.4.4 まとめ

本節では、3節と同じ評価指標を用いて洗髪ロボットによる洗髪洗净効果、身体的負担、リラクゼーション効果の評価を行った。

頭部に付着する ATP の量を汚れとしたところ、洗髪により頭皮の汚れが 16 %、頭髪の汚れが 28 %減少した。洗净度には部位による偏りがみられ、洗净効果に課題が残る結果となった。ATP と VAS の結果から、ATP の減少率が高いほど、掻痒感が減少し、爽快感が増加することが明らかになった。生理的反応から身体的負担を与える大きな変動はなく、洗髪によるリラクゼーション効果が示唆された。洗髪ロボットの洗净機能を強化することにより、より理想的な洗髪ケアを行うことができるといえる。

2.5 ヒトによる洗髪と洗髪ロボットによる洗髪効果の比較検討

5節では、3節で明らかになったヒトによる洗髪と4節で明らかになった洗髪ロボットによる洗髪の洗浄効果、身体的負担、リラクゼーション効果を比較し、洗髪ロボットの洗髪特性について議論する。

2.5.1 方法

2.5.1.1 対象

3節のヒトによる洗髪（以下、「Human 群」）と4節の洗髪ロボットによる洗髪（以下、「Robot 群」）で得られたデータを用いる。Human 群（9名）と Robot 群（9名）の対象者属性（年齢、髪の長さ、身長、体重）について、群間で有意な差はなかった（Table 5-1）。なお、本研究については大阪大学保健学科倫理委員会（No. 215/231）の承認を得ている。

Table 5-1. Subject's characteristic.

Average \pm SD	Total[N=18]	Human[N=9]	Robot[N=9]	p
Age (y)	25.5 \pm 5.81	25.0 \pm 5.43	26.0 \pm 6.46	n.s.
Sex (Men / Women)	10 / 8	6 / 3	4 / 5	
Hair length (mm)	26.8 \pm 8.86	24.6 \pm 10.8	29.0 \pm 6.16	n.s.
Height (cm)	166 \pm 8.90	165 \pm 8.23	166 \pm 10.0	n.s.
Weight (kg)	58.3 \pm 8.53	59.7 \pm 9.39	56.9 \pm 7.88	n.s.

Average \pm SD, t test *p<0.05, **p<0.01

2.5.1.2 分析方法

1) 対象

Human 群と Robot 群の洗浄指標、生理指標、心理指標について、洗髪前安静時の値を群間比較し、ウィルコクソン符号付順位和検定を行った。有意水準は5%とした。

2) 洗浄指標

Human 群と Robot 群の洗浄度の比較を、ウィルコクソン符号付順位和検定を行い、有意水準は5%とした。各群の分析は3節の方法に準拠する。

3) 生理指標

体位の変化による生理反応への影響を除去するため、洗髪前安静時と洗髪後安静時の比較のみ行う。各群の分析は3節の方法に準拠する。

4) 心理指標

Human 群と Robot 群の VAS の比較を、ウィルコクソン符号付順位和検定を行い、有意水準は 5 % とした。各群の分析は 3 節の方法に準拠する。

2.5.2 結果

2.5.2.1 対象者属性

各群の対象者属性を Table 5-2 に示す。心拍数 (HR) は、Robot 群が Human 群に比べ有意に高かった ($p < 0.05$) が、ほかの測定項目では群間の差はみられなかった。

Table 5-2. Subject's characteristic before shampooing.

Before shampooing(RBS or BS)	Human[N=9]	Robot[N=9]	p
ATP-Scalp (logRLU)	9.36 ± 0.52	8.91 ± 0.93	n.s.
ATP-Hair (logRLU)	6.79 ± 0.53	6.57 ± 0.85	n.s.
SBP (mmHg)	108 ± 10.2	107 ± 8.37	n.s.
DBP (mmHg)	67.8 ± 8.57	69.4 ± 9.26	n.s.
HR (bpm)	52.3 ± 7.11	63.6 ± 5.36	<0.05
SDNN (ms)	64.6 ± 17.2	49.0 ± 12.2	n.s.
Hf (ms ²)	955 ± 649	867 ± 709	n.s.
Lf (ms ²)	739 ± 542	440 ± 349	n.s.
Lf/Hf	1.07 ± 0.91	0.65 ± 0.68	n.s.
PST (°C)	31.7 ± 4.64	26.1 ± 8.14	n.s.
VAS-Comfort	52.1 ± 24.6	55.6 ± 21.7	n.s.
VAS-Fatigue	74.0 ± 22.9	57.5 ± 21.1	n.s.
VAS-Refreshing	41.3 ± 32.7	46.6 ± 21.7	n.s.
VAS-Itching	39.2 ± 27.5	22.6 ± 26.0	n.s.

Average ± SD

ATP : Adenosine Triphosphate, SBP : Systolic Blood Pressure,

DBP : Diastolic Blood Pressure, HR : Heart Rate,

SDNN : Standard Deviation of RR interval, Hf : High frequency,

Lf : Low frequency, PST : Peripheral Skin Temperature,

VAS : Visual Analog Scale

2.5.2.2 洗浄指標

Human 群と Robot 群の洗浄度を Figure 5-3 に示す。頭皮・頭髪ともに群間に有意な差はみられなかった。部位別にみたところ、洗髪後に ATP 値が有意に減少した部位は Figure 3-5 と Figure 4-4 に示すように、Human 群頭皮で頭頂部・右側頭部・後頭部、Robot 群頭皮で右側頭部、Human 群頭髪で右側頭部、Robot 群頭髪で右側頭部・後頭部であった。

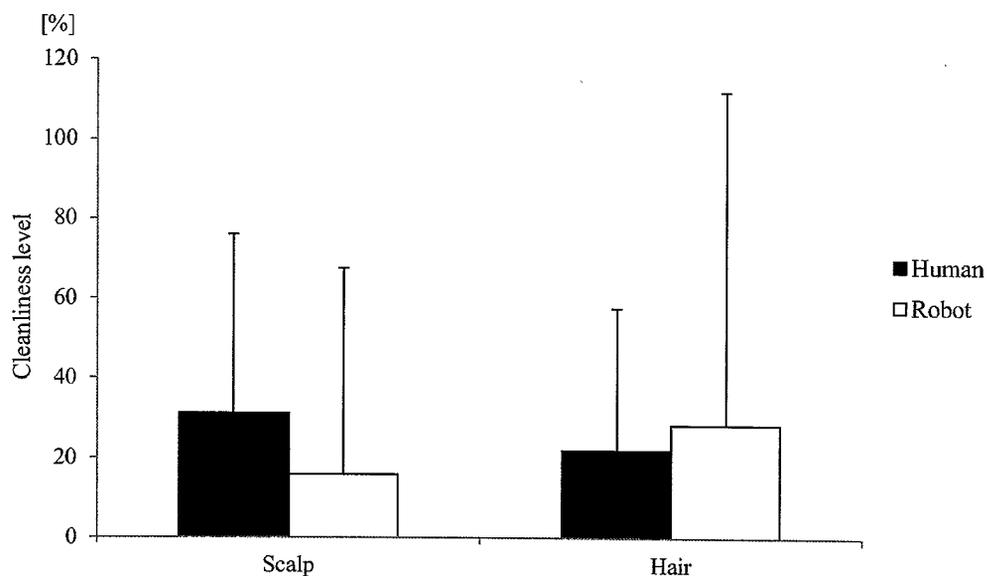


Figure 5-3. Result of cleanliness level. (N=9, Average \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

2.5.2.3 生理指標

Figure 3-6,7,8 に示すように、Human 群はすべての指標において洗髪前後に有意な差はみられなかった。変化がみられなかった。Robot 群は、Figure 4-5,6,7 に示すように洗髪前安静時に比べ、洗髪後安静時で心拍数の有意な低下のみみられた。

2.5.2.4 心理指標

Figure 3-9 と Figure 4-8 の洗髪前 VAS 値と洗髪後 VAS 値の群間比較を各項目において行ったところ、群間で有意な差はみられなかった。Human 群と Robot 群の VAS 変化率を Figure 5-4 に示す。すべての項目で群間の差はみられなかった。Figure 3-9 と Figure 4-8 に示すように、両群ともに洗髪後「爽快感」が有意に増加したが、「掻痒感」は Human 群のみ有意に減少した。また、各群の ATP と VAS の相関関係では、Human 群では「爽快感」と「掻痒感」に有意な負の相関がみられ、Robot 群では洗浄度と「掻痒感」に有意な負の相関が、洗浄度と「爽快感」に正の弱い相関がみられた。

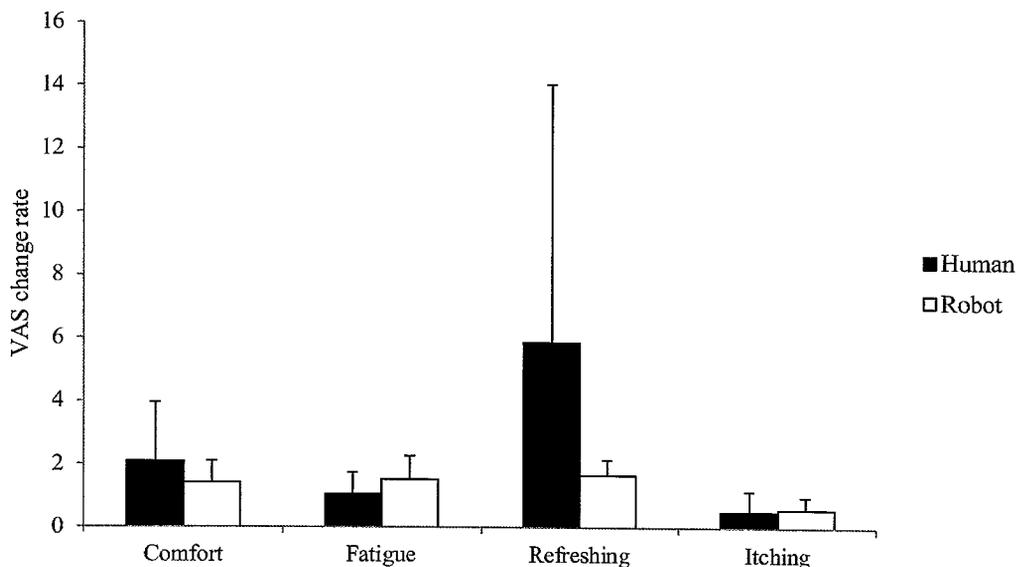


Figure 5-4. Results of VAS change rate. (N=9, Average \pm SD, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

2.5.3 考察

本節では、ヒトによる洗髪と洗髪ロボットによる洗髪の洗浄効果、身体的負担、リラクゼーション効果を比較した、洗髪ロボットの洗髪特性を検討した。

洗浄度では、2群間に有意な差はみられなかった。部位ごとに洗浄効果をみてみると、Human群は全体的に洗浄できているが、Robot群には偏りがみられた。また、VAS変化率では2群間で「掻痒感」に有意な差はみられなかったが、実測VAS値ではHuman群のみに洗髪後「掻痒感」の有意な減少がみられた。ロボットはヒトに比べ、洗浄領域が限られており、洗浄部位や「掻痒感」で群間の差がみられたと考えられる。ヒトによる洗髪と同様もしくはそれ以上の洗浄効果を得るためには、洗髪ロボットの洗浄機能の強化が必要であると考えられる。生理反応では、洗髪後にRobot群のみ心拍数の有意な低下、収縮期血圧の低下傾向がみられ、リラクゼーション方向への変化がみられたと考えることができる。Robot群はHuman群に比べ洗髪前の心拍数が高かったため、変化が出やすい可能性があるが、要因としては、ロボットによるマッサージ刺激、ロボットを初めて体験することへの興奮状態や不安状態からの解放、ロボット体験に対しての好印象、ヒトの洗髪に比べて、後頭部を洗う時に頭を持ち上げるなどの被洗髪者の動きが少ないことが考えられる。しかし、両群ともに洗髪前後で生理指標の大きな変化はみられず、リラクゼーション効果とまではいえないものの、身体的負担を与える大きな変動はない洗髪であったことが示唆された。心理反応では、両群ともに洗髪後「爽快感」に有意な増加がみられ、先行研究でも示されているように、洗髪により得られる「爽快感」が心理的に与える影響が大きいことが示唆された。各群のATPとVASの相関関係から、洗浄効果が高いほど、また身体的負担が少ないほど、爽快感が高く、掻痒感が減少する洗髪ケアを行うことができるといえる。つまり、被洗髪者にとって満足度の高い洗髪方法を検討するためには、洗浄効果と身体的負担の両方を考慮する必要性があるといえる。

ロボットの洗髪効果についてまとめると、洗浄効果について課題は残るものの、ヒトとロボットの洗髪による洗浄効果、身体的負担には有意な差がみられず、リラクゼーション効果がみられた。洗浄度が心理面にプラスの影響を与えることから、ロボットの洗浄機能が強化されることにより、リラクゼーション効果や爽快感の増加につながる可能性が示唆された。本研究の結果から、ロボットの洗髪効果はヒトの洗髪と有意な差がみられず、ヒトに代わってロボットが洗髪を行っても、被洗髪者に及ぼす洗浄効果、身体的負担、リラクゼーション効果に有意な差がない可能性が示唆された。

2.5.4 まとめ

本節では、ヒトによる洗髪とロボットによる洗髪の洗浄効果、身体的負担、リラクゼーション効果の比較を行った。ロボットの洗浄効果では、部位ごとの偏りがみられたが、ヒトとロボットの洗髪効果に有意な差がないことが明らかになった。以上のことから、ヒトに代わってロボットが洗髪を行っても、被洗髪者に及ぼす洗浄効果、身体的負担、リラクゼーション効果に有意な差がない可能性が示唆された。

2.6 結言

本章では、洗髪ロボットによる洗浄効果、被洗髪者の生体に及ぼす身体的負担、リラクゼーション効果を定量的に評価する指標を設定し、その評価指標を用いてヒトとロボットによる洗髪効果を統合的に比較し、洗髪ロボットの洗髪特性について議論した。

洗髪効果を定量的に評価するために、洗浄指標、生理指標、心理指標の3つの指標を用いて洗髪効果の評価を行った。洗浄指標は、頭部に付着する ATP を「汚れ」とし、洗髪前後の頭皮と頭髪の ATP 値を測定した。頭部に付着する ATP の量を汚れとしたところ、ヒトによる洗髪では頭皮の汚れが 31 %、頭髪の汚れが 22 % 減少し、ロボットによる洗髪では頭皮の汚れが 16 %、頭髪の汚れが 28 % 減少した。ヒトとロボットの洗浄度を比較したところ有意な差はみられなかった。部位別にみたところ、ヒトによる洗髪は全体的に洗浄できていたが、ロボットによる洗髪では洗浄領域に偏りがみられた。生理指標は、心拍数、血圧、HRV、皮膚温を測定した。生理的反応から身体的負担を与える大きな変動はなく、洗髪ロボットによる洗髪ではリラクゼーション効果が示唆された。心理指標は、VAS を用いて主観調査を行った。ヒト、ロボットともに洗髪後「爽快感」が有意に増加した。ヒトが感じる汚れと ATP の量に相関はみられなかったが、ATP の減少率が高いほど爽快感が増加し、掻痒感が減少することが示唆された。

ヒトによる洗髪の洗浄指標、生理指標、心理指標の結果を先行研究の結果と比較したところ、類似性がみられ、加えて洗浄指標では部位による洗浄効果を検討することができた。また各指標間の関連性についても検討することができ、本評価指標を用いることにより、洗髪効果を統合的に評価出来たと考えられる。

ロボットによる洗浄効果、身体的負担、リラクゼーション効果はヒトによる洗髪効果と比較すると、平均的な洗浄効果には差がみられず、リラクゼーション効果が示唆された。ロボットによる洗髪効果はヒトによる洗髪と有意な差がみられず、ヒトに代わってロボットが洗髪を行っても、被洗髪者に及ぼす効果に有意な差がない可能性が示唆された。ロボットによる洗髪は、被洗髪者に身体的負担を与えるような大きな生理変化を伴わなかったことから、洗髪回数が限られている患者や高齢者への適用可能性が考えられる。そこで、病院や介護施設に洗髪ロボットが導入されたことを想定して、洗髪者側と被洗髪者側との両視点から、洗髪ロボットの洗髪特性について考える。

病院や介護施設の洗髪者は看護師や介護師が想定されるが、洗髪は腰部負担を主と

する身体的負担が大きい業務であり、在宅では要介助率が高い。洗髪ロボットを用いることにより、腰部負担の原因である中腰業務はほぼなくなり、身体的負担は大きく減少するといえる。また、洗髪ロボットの操作自体を、看護師・介護師以外が行う、もしくは被洗髪者自身が行うことも可能であるため、看護師や介護師らの業務効率の向上や病院・施設の人手不足の緩和につながると考えられる。しかし、ケアとしての洗髪は、本研究で検討した洗浄効果やリラクゼーション効果に加え、被洗髪者とのコミュニケーションの機会であり、頭皮や頭髮など皮膚状態を観察する機会でもある。本実験後のインタビューでも、洗髪ロボットに比べてヒトによる洗髪が良かった点として「声かけがあること」という意見が聞かれた。このように、すべての洗髪をロボットに代用できるものでも、させるべきものでもないが、洗髪ロボットは洗髪者の洗髪業務をサポートする一つの有効な選択肢であることが示唆された。

病院や介護施設の被洗髪者は患者や高齢者が想定されるが、自ら洗髪を行うことは身体的に負担が大きい動作であり、介助回数も限られている。洗髪ロボットが導入されることにより、洗髪回数が増加する、もしくは自らの希望に合わせて洗髪を行うことが可能となれば QOL の向上につながることが期待される。また、本研究で洗髪ロボットによるリラクゼーション効果が示唆されており、洗浄機能だけではないさまざまな付加価値をつけることが可能であると考えられる。例えば、洗髪前の ATP 値を自動で測定し、汚れの程度に合わせて洗髪部位を調整したり、洗髪中の血圧、心拍、HRV、皮膚温、を自動で測定し、身体的負担がかかっているか調節したり、被験者ごとの心地よさに合わせた洗髪方法を選択したりするなど、被験者に合わせて洗髪を行うオーダーメイド洗髪への可能性などが挙げられる。しかし、患者や高齢者ゆえに注意しなければいけない点も多い。貧血患者や心疾患患者では、同じ洗髪方法であっても健常者に比べ身体的負担が大きくなることが報告されている [58-61]。そのほか、頭頸部の創傷の有無や体位の制限などについても、今後検討が必要である。また本研究の結果から、洗髪者がロボットであることに対する抵抗感は少なかったことが考えられるが、被験者は若年健常者であったため、患者や高齢者とはロボットに対する抵抗感（反応）が異なることが予想される。このように被洗髪者への影響についてはさらなる検討が必要であるといえるが、ADL は自立しているが自ら洗髪を行うことが困難、また洗髪を人に頼みづらいというような対象者には適用可能であり、洗髪ロボットは被洗髪者の洗髪をサポートする一つの有効な選択肢であることが示唆された。

以上のように、病院・施設において、洗髪ロボットは現段階では対象者に制限はあるものの、洗髪者・被洗髪者に合わせて使用することにより、洗髪者の負担を軽減し、被洗髪者の QOL 向上につながる一つの有効なツールとして利用できる可能性が

示唆された。

第3章

結論

工学的技術を医療分野に応用することにより、医療の発展に多大な影響を与えているが、看護分野においては病院・施設内で医療機器などモノとして工学技術を取り扱うことはあっても、その背景を知る機会が少なく、技術を利用したサポートツールの提案や評価まで取り組めていない現状である。

介助者の人員不足や身体的負担、老老介護などの問題を解決し、かつ非介助者のQOLを向上するためには、工学視点からの技術的な評価だけでなく、看護の視点からロボットを含むサポートツールの提案やその応用可能性を検討することが大変重要である。本論文では、看護と工学を融合した一つの可能性を示し、新しい看護研究の姿を提示したといえる。今後さらに本領域が発展することを期待する。

謝辞

研究全般にわたりご指導，ご助言いただきました大阪大学医学系研究科，大野ゆう子教授，山田憲嗣特任教授，清水佐知子助教に心より感謝申し上げます。また，Panasonic 株式会社の方々に心より感謝申し上げます。大橋一友教授，早川和生教授には貴重なご指導をいただき，熱く御礼を申し上げます。研究活動中，終始ご協力，ご助言，励ましを賜りました大野研究室の皆様には感謝申し上げます。卒業研究から修士論文に至るまで，ご指導・ご助言いただきました松浦教授，松浦研究室の皆様には感謝申し上げます。また長い学生生活を様々な面で支えてくれた家族に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 船木和美, 上館紀子, 山田佳奈, 山本眞千子. 看護援助としての洗髪が生体に及ぼす影響: 自律神経活動及び循環動態指標を用いた検討. 宮城大学看護学部紀要. 2008;11(1):21-6.
- [2] 津田智子, 東サトエ, 松崎敏男, 山口さおり, 松成裕子, 柳川育美, 宮藺夏美. 体温の経時の変化からみた洗髪技術の科学的根拠: サーモグラフィと深部温モニターによる分析. *Biomedical thermology*. 2007;26(3):83-7.
- [3] 工藤綾子, 小川妙子, 稲富恵子, 平山喜美子, 小林佐知子. 高齢患者の頭髪細菌汚染状況と感染予防を目的とした洗髪方法の検討. 順天堂医療短期大学紀要. 2001;12:46-54.
- [4] 池田七衣, 白井文恵, 土肥義胤. 頭髪に付着した院内感染起因菌の生残にシャンプー洗髪が与える影響. 日本看護研究学会雑誌. 2006;29(5):19-25.
- [5] 橋本綾子, 柏木綾, 坂井美晴, 清水小百合, 谷口夏美, 津和崎和江, 野田洋子. 洗髪ニードの未充足がもたらす不快の解析. 福岡県立看護専門学校研究論文集. 2002;25:85-94.
- [6] 都市生活研究所 高齢者世代の入浴
Available from: <http://www.toshiken.com/column/2010/03/post-210.html>
- [7] 舟根紀都美, 神野朋美, 結城佳子, 寺山和幸. 上川北部地域において冬期間に骨折した高齢者の実態調査. 地域と住民: 道北地域研究所年報. 2005; (23):1-13.
- [8] 中野裕之, 井口茂. 7成人・高齢者のリハビリテーション (IV リハビリテーション). 長崎大学公開講座叢書. 1998;10:169-75.
- [9] 木子莉瑛, 谷口まり子, 松尾裕子, 森山奈央子. 入院患者の洗髪のニーズに関する研究. 熊本大学教育学部紀要 自然科学. 2003;52:83-9.
- [10] 熊谷信二, 田井中秀嗣, 宮島啓子, 宮野直子, 小坂淳子, 田淵武夫, 赤阪進, 小坂博, 吉田仁, 富岡公子, 織田肇. 高齢者介護施設における介護労働者の腰部負担. 産業衛生学雑誌. 2005;47(4):131-8.
- [11] 廣瀬俊典, 藤岡総一郎, 水野修, 中村徹. 接触摺動洗浄機能を有する洗髪ロボットの開発. 第29回日本ロボット学会学術講演会予稿集. 2011:2H1-2.
- [12] 本多容子, 緒方巧, 小川美津子. 基礎看護技術洗髪における「すすぎ」の研究: 界面活性剤残留濃度と洗浄量の分析 (第1報). 藍野学院紀要. 2004;18:95-103.
- [13] 本多容子, 緒方巧. 基礎看護技術「洗髪」におけるすすぎの研究: 効率的なすすぎ方法の検討 (第2報). 藍野学院紀要. 2005;19:89-96.
- [14] 井上範江, 橋口暢子. 清潔援助にともなう被援助者の生体情報: 全介助安静仰臥位での洗髪において (看護研究部会特集). 日本生理人類学会誌. 1999;4(2):79-86.
- [15] 松本比佐江, 津田紀子, 久次米健市, 細川順子, 河井泉, 川西千恵美, 神谷和世, 宮脇郁子, 祖父江育子, 矢本美子, 上羽康之. 洗髪の循環代謝系に及ぼす影響に関する研究 - 湯の温度差による検討. 神戸大学医療技術短期大学部紀要. 1989;5:161-7.
- [16] 丸山咲野, 木戸上八重子, 横山文子, 三浦昌子, 近田敬子, 竹之熊淑子, 尾坂良子. 日常生活行動負荷に関する実験—前屈位洗髪のエネルギ代謝と心拍数の変化について—. 京都大学

- 医療技術短期大学部紀要. 1981;1:46-54.
- [17] 近田敬子, 木戸上八重子, 横山文子, 丸山咲野, 三浦昌子, 竹之熊淑子, 森美春. 洗髪労作度に影響を及ぼす要因の検討(2) —冬の半座位洗髪代謝を高めている因子は何か—. 京都大学医療技術短期大学部紀要. 1983;3:55-63.
- [18] 板倉敷子, 畑中あかね, 阿曾洋子, 田中結華. 洗髪車使用時の安楽な体位に関する研究. 神戸市看護大学短期大学紀要. 1994;13:41-50.
- [19] 深田順子, 米澤弘恵, 石津みえ子, 時々輪浩穂, 中村恵子, 藤井徹也, 長野きよみ, 太田節子, 森田チエコ. 椅座前屈位洗髪における筋負担. 日本看護研究学会雑誌. 1998;21(2):29-37.
- [20] 沼田華織, 工藤せい子, 津島律. 前屈位洗髪における貧血患者の脈拍・呼吸・血圧. 日本看護研究学会雑誌. 1990;13(1):63-72.
- [21] 橋口暢子, 井上範江, 石橋圭太, 栃原裕. 洗髪台使用時における洗髪動作が生理心理反応に及ぼす影響: 洗髪体位の違いによる検討. 日本生理人類学会誌. 2001;6(2):57-64.
- [22] 星野佐和子, 榎本麻里, 加藤美智子, 宮腰由紀子, 大谷真千子, 上岡澄子, 宮崎和子, 松岡淳夫. 床上洗髪のエネ르기ー代謝について(自然科学編). 千葉県立衛生短期大学紀要. 1985;4(2):35-42.
- [23] 望月美奈子, 松岡淳夫. 洗髪器機の人間工学的考察. 日本看護研究学会雑誌. 1984;7(3):27-35.
- [24] 中村喜代美, 望月美奈子, 松岡淳夫. 洗髪機器の人間工学的考察(第2報) —使用時のエネ르기ー代謝について—. 日本看護研究学会雑誌. 1986;9(1/2):27-35.
- [25] 石井範子, 千田富義, 戸井田ひとみ, 平元泉. ケリーパード洗髪における補助具の効果. 日本看護研究学会雑誌. 1994;17(1):43-8.
- [26] 佐藤晶, 坂田五月, 野村志保子. 洗髪手技の違いによる生体反応・主観的反応の比較. 日本看護学会誌. 2003;12(1):50-9.
- [27] 田村典子, 面本眞壽恵, 二宮伸治, 杉本吉恵, 青井聡美, 山口三重子, 三宅由希子, 阪本恵子. 安全, 安楽な洗髪技術習得のための実施者の腕の動きと指腹の圧の定量化. 人間と科学: 県立広島大学保健福祉学部誌. 2007;7(1):31-41.
- [28] Kato K. Studies on sebum on scalp and shampoo-time-lapse changes in the amounts of triglyceride and free fatty acid on the scalp and subjective symptoms for one week. Annual reports of the College of Medical Technology, Hokkaido Univ. 1997;10:47-58.
- [29] 加藤圭子. 安静臥床を要する入院患者の洗髪に関する基礎的研究(I) 頭皮皮表のトリグリセリドと遊離脂肪酸および自覚症状との関係. 米子医学雑誌. 1998;49(1):35-44.
- [30] 加藤圭子. 安静臥床を要する入院患者の洗髪に関する基礎的研究(II) 頭皮皮表の常在菌と頭部の落屑量および自覚症状との関係. 米子医学雑誌. 1998;49(1):45-56.
- [31] Kato K, Fukada M. Experimental studies on shampooing care. About sebum on the scalp and subjective symptoms of the head. Bulletin of Tottori University College of Medical Care Technology. 2000;(32):67-76.
- [32] Kato K, Fukada M. Studies in Literature on a True Form of the Head Pollution and Shampooing Care -Part 1. The Self-cleansing Action and Normal Bacterial Flora on the Skin. Bulletin of Tottori University College of Medical Care Technology. 2000;(32):83-6.
- [33] Kato K, Fukada M. Studies Literature on a True Form of the Head Pollution and Shampooing Care -Part 2. About the Action of Normal Flora on the Skin Surface. Bulletin of Tottori University College of Medical Care Technology. 2000;(32):87-90.
- [34] Liu Y, Liu C, Collaudin C, Saint-Leger D, Lousouarn G, Kravtchenko S, Genain G. Challenging the scalp with 'dry' wash shampooing (DW) on Chinese men: an in vivo study. International journal of cosmetic science. 2010;32(2):127-33.

- [35] 中野榮子, 津田智子, 永嶋由理子, 瀧野由夏, 加藤法子, 山名栄子, 杉野浩幸. 洗髪技術のエビデンスに関する研究 予備洗いの有無による清浄度と快適性の検討. 福岡県立大学看護学部紀要. 2008;6(1):35-9.
- [36] 服部恵子, 山口瑞穂子, 島田千恵子, 鈴木淳子, 小元まき子, 田中志寿子. 身体の清潔への援助に関する研究内容の分析: わが国における研究論文に焦点を当てて. 順天堂医療短期大学紀要. 2001;12:1-13.
- [37] 清佳浩, 小林めぐみ, 早出恵里. フケ症に対するミコナゾール硝酸塩配合リンスの有用性の検討: 基剤を対照とした二重盲検比較試験. *Medical mycology journal*. 2011;52(3):229-37.
- [38] 松廣礼佳, 岡野美紀子, 星野綾子. 高齢者の術後せん妄予防のための洗髪実施による効果の検討—日本語版ニーチャム混乱・錯乱状態スケール得点の推移に基づく分析—. 日本看護学会論文集 老年看護. 2009;40:24-6.
- [39] (財) 東京顕微鏡院 伊藤武, ATP・迅速検査研究会 (旧・ATP ふき取り検査研究会) 監修. 新しい衛生管理法 ATPふき取り検査 (改訂増補版). 月刊 HACCP. 2009.
- [40] Aycicek H, Oguz U, Karci K. Comparison of results of ATP bioluminescence and traditional hygiene swabbing methods for the determination of surface cleanliness at a hospital kitchen. *International journal of hygiene and environmental health*. 2006;209(2):203-6.
- [41] Cooper RA, Griffith CJ, Malik RE, Obee P, Looker N. Monitoring the effectiveness of cleaning in four British hospitals. *American journal of infection control*. 2007;35(5):338-41.
- [42] Lewis T, Griffith C, Gallo M, Weinbren M. A modified ATP benchmark for evaluating the cleaning of some hospital environmental surfaces. *The Journal of hospital infection*. 2008;69(2):156-63.
- [43] Boyce JM, Havill NL, Dumigan DG, Golebiewski M, Balogun O, Rizvani R. Monitoring the effectiveness of hospital cleaning practices by use of an adenosine triphosphate bioluminescence assay. *Infection control and hospital epidemiology : the official journal of the Society of Hospital Epidemiologists of America*. 2009;30(7):678-84.
- [44] Aiken ZA, Wilson M, Pratten J. Evaluation of ATP bioluminescence assays for potential use in a hospital setting. *Infection control and hospital epidemiology*. 2011;32(5):507-9.
- [45] 浅野梨沙, 杉山章. 細菌の ATP 検査によるモニタリングシステムの評価. 名古屋女子大学紀要 家政・自然編. 2001;47:95-100.
- [46] Marena C, Lodola L, Zecca M, Bulgheroni A, Carretto E, Maserati R, Zambianchi L. Assessment of handwashing practices with chemical and microbiologic methods: preliminary results from a prospective crossover study. *American journal of infection control*. 2002;30(6):334-40.
- [47] 杉山章, 山田久美子, 浅野梨沙. 細菌数の指標として ATP 検査を用いた場合の手洗い技法上達に関する教育効果. 名古屋女子大学紀要 家政・自然編. 2005;(51):53-8.
- [48] 杉山章, 山田久美子, 渡邊美咲. 蛍光ハンドローションによる手洗いテストを ATP 検査による細菌試験の前に導入した場合の手洗い技法改善に関する教育効果. 名古屋女子大学紀要 家政・自然編. 2006;(52):19-23.
- [49] 久田友治, 太田光紀, 具志堅興治, 岡山晴香, 澤口昭一. 手術時手洗い評価法としてのアデノシン三リン酸測定法と寒天培地法の比較. 琉球医学会誌. 2009;28(1):41-4.
- [50] 諸橋京美, 竹内奈生美, 北里順, 田中律子. 特定給食施設における調理従事者等の手洗い方法の検討. 北海道文教大学研究紀要. 2010;(34):81-5.
- [51] 久田友治, 太田光紀, 垣花シゲ. アデノシン三リン酸測定を用いた手術時手洗い評価の臨床的意義. 日本環境感染学会誌. 2011;26(2):83-6.
- [52] 今西二郎. ストレス度、リラクセーションならびに QOL の評価に関する研究 (特集 代替

- 療法の科学的評価手法の確立) - (代替医療の評価指針に関する評価). 日本統合医療学会誌. 2005;2(2):15-20.
- [53] 横山和仁, 荒記俊一, 川上憲人. POMS (感情プロフィール検査) 日本語版の作成と信頼性および妥当性の検討. 日本公衆衛生雑誌. 1990;37(11):913-8.
- [54] 赤林朗, 横山和仁, 荒記俊一, 島田恭子. POMS (感情プロフィール検査) 日本語版の臨床応用の検討. 心身医学. 1991;31(7):577-82.
- [55] Aitken RCB. Measurement of feelings using visual analogue scales. Proceedings of the Royal Society of Medicine. 1969;62:989-93.
- [56] McCormack HM, Horne DJ, Sheather S. Clinical applications of visual analogue scales: a critical review. Psychological medicine. 1988;18(4):1007-19.
- [57] キッコーマンバイオケミファ株式会社. Available from: <http://biochemifa.kikkoman.co.jp/>.
- [58] 津島律, 山崎紀子, 山下朱美, 権藤千佳子, 工藤せい子. 貧血患者に対する洗髪温度別および経時的観点から検討した Vital signs. 弘前大学教育学部紀要. 1987;58:57-65.
- [59] 工藤せい子, 竹村華織, 阿部テル子, 大串靖子. 貧血患者の洗髪における体位によるバイタルサインの変化. 看護技術. 1997;43(1):97-102.
- [60] 馬場崎喜美子, 向井恵子. 急性心筋梗塞患者の床上安静時における洗髪安全性とその時期の検討. 日本看護学会集録 成人看護. 1995;26(1):17-20.
- [61] 溝内君代, 細束知代, 山口直子. 急性心筋梗塞における End・point からみた洗髪と心負荷の関連. 日本看護学会抄録集 成人看護 1. 1998;29:79-81.

付録 A

頭皮常在菌数と頭皮 ATP 値の 関係について

ATP 法の妥当性を評価するため頭皮 ATP 値（ATP 法）と頭皮の常在菌数（細菌培養法）の関係について検討した。

A.1 方法

A.1.1 対象

対象者は口頭、書面にて本研究の主旨を説明し、理解・同意が得られた健常者 7 名（男性 2 名、女性 5 名）とした。対象者には、1) 実験日前夜・実験日当日の洗髪は行わないこと、2) 当日は整髪料をつけてこないことを指示した。

A.1.2 測定方法

綿棒（栄研化学社製 γ コレクトスワブ RI）を滅菌水で湿らせ、頭頂部・側頭部・後頭部の頭皮 3 箇所 50 mm 範囲を同一の力で 10 往復擦過し、1500ml の滅菌水で攪拌する。これを原液とし、10, 100, 1000 倍希釈を行う。各希釈液を 100 μ l ずつ標準寒天培地（栄研化学社製）に塗布し、48 時間培養後目視で計測可能な培地を 2 つ選択し、コロニー数を測定した。また同じ希釈液を 100 μ l ずつルシパック Pen の反応溶液中に加え、ルミテスター PD-20 を用いて ATP 値を測定した。

A.1.3 分析方法

生菌数は希釈倍率 a のコロニー数と希釈倍率 b のコロニー数を用いて、以下の式により算出した。

$$\text{生菌数} = \frac{\text{希釈 a コロニー数} \times \text{希釈 a 倍率 (10or100or1000)} + \text{希釈 b コロニー数} \times \text{希釈 b 倍率}}{2}$$

算出した生菌数と ATP 値との関連性については、スピアマンの順位相関係数を用いて検討し、有意水準は 5 % とした。

A.2 結果と考察

生菌数と原液 ATP 値の結果を Figure A-1 に示す。生菌数と原液 ATP 値との相関係数は $r = 0.26$ であり、有意な相関はみられなかった。コロニー計測では、コロニー数が少なすぎても多すぎても信頼性がないといわれており、1 枚の培地上に 30-300 個が適切であるといわれている。そこで、測定コロニー数が 30 以下のものを除外した結果を Figure A-2 に示す。30 以下を除外した生菌数と原液 ATP 値の相関係数は $r = 0.83$ ($p < 0.01$) であり、有意な正の相関がみられた。コロニー数が少ない場合を除き、頭皮の生菌数と ATP 値に有意な相関がみられ、ATP 値は生菌数を反映していることが示唆された。

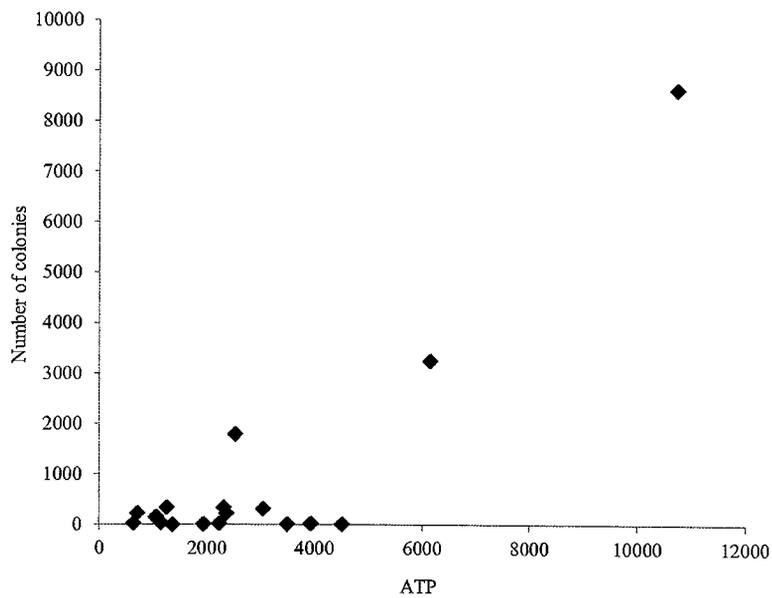


Figure A-1. Relationship between number of colonies and ATP. (N=21)

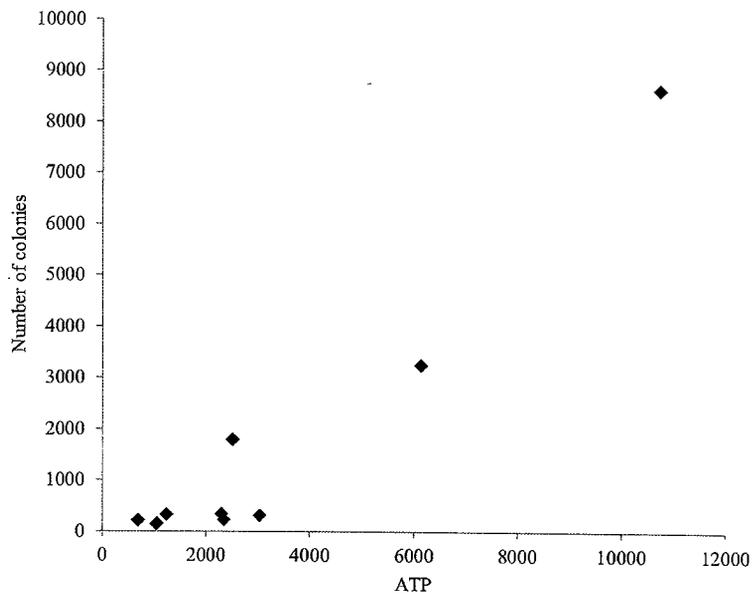


Figure A-2. Relationship between number of colonies (over 30) and ATP. (N=10)

