Korean Journal of Clinical Dental Hygiene

Original Article

초음파와 수기 치석제거기의 사용 시 치석제거율과 작업 자세 비교

김한나[1†], 윤태림[2†], 민지현[3*]
[1]연세대학교 치위생학과, [2]청주대학교 물리치료학과, [3] 청주대학교 치위생학과

Comparison of Calculus Removal Efficiency and Working Posture Between Ultrasonic and Manual Scalers

Received: June 30, 2025
Revised: August 03, 2025
Accepted: August 06, 2025

Han-Na Kim[1†], Tae-Lim Yoon[2†], Ji-Hyun Min[3]
[1]Department of Dental Hygiene, College of Software and Digital Healthcare Convergence, Yonsei University, 1 Yonseidae-gil, Wonju 26493, Korea
[2]Department of Physical Therapy, College of Health & Medical Sciences, Cheongju University, Cheongju, 28503, Korea
[3]Department of Dental Hygiene, College of Health & Medical Sciences, Cheongju University, Cheongju, 28503, Korea

[†] These two authors contributed equally to the manuscript.

[*]**Corresponding Author: 민지현,** (28503) 충청북도 청주시 청원구 대성로 298 청주대학교 치위생학과, Tel: (043) 229-8375, Fax: (043) 229-8969, E-mail: jhmin@cju.ac.kr

Abstract

Objective: In this study, we compared calculus removal efficiency and dental hygienists' joint angles when using ultrasonic and manual scalers to assess clinical and ergonomic differences. **Methods:** Thirty-seven dental hygienists performed scaling on two artificial calculus-coated dentiform models: one with an ultrasonic scaler and the other with a manual scaler. We quantified calculus removal using an image analysis software. We measured the joint angles at the cervical spine, lumbar spine, elbow, and wrist using inertial sensors. We used paired-sample t-tests for statistical analysis. **Results:** Ultrasonic scalers yielded significantly higher calculus removal across all regions (p<0.001). The lumbar flexion angle was significantly smaller when using the ultrasonic scaler(103.75 °) compared to that when using the manual scaler(108.39 °)(p=0.010), and the elbow flexion angle was closer to neutral(73.97 °; p=0.010). Wrist flexion/extension also decreased with the ultrasonic scaler(p=0.035), indicating a reduced musculoskeletal burden. **Conclusions:** Ultrasonic scalers improve calculus removal efficiency and promote a more ergonomic posture by reducing lumbar and wrist strain. Our findings support the use of ultrasonic devices for clinical effectiveness and dental hygienists' musculoskeletal safety.

Korean Journal of Clinical Dental Hygiene, 2025;13(3):165-173 https://doi.org/10.12972/kjcdh.2025.13.3.4 pISSN : 2287-9641 eISSN : 2465-7743 Copyright © 2025 by Korean Journal of Clinical Dental Hygiene. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0)

Key words: Dental hygienists, Dental scaling, Ergonomics, Musculoskeletal system, Posture
색 인: 치과위생사, 치석제거, 인간공학, 근골격계, 자세

1. 서론

치과위생사는 환자의 구강 건강을 유지하고 개선하는 데 중요한 역할을 수행하며, 그 중에서도 치석제거(Dental scaling)는 치석(Dental calculus)과 치태(Dental plaque)를 물리적으로 제거하는 주요한 임상 업무 중 하나이다(1, 2). 치석은 구강 내 다양한 무기질과 유기물이 결합하여 형성되는 경화된 퇴적물로, 치주질환을 유발할 수 있는 주요 원인으로 알려져 있다(3, 4). 따라서 치석 제거는 치아와 치주조직의 건강을 유지하는 필수적인 과정이다(5).

치석은 구강 내 다양한 무기질과 유기물이 조합되어 있는데 무기물 함량이 79-90%이다(4). 치석은 건전한 법랑질의 약 10~20% 수준의 경도를 가지며, 치아 표면에 최대 4 MPa의 부착력을 가진다(3). 치석 제거 방법은 크게 전동기계를 이용하는 방법과 수기구를 이용하는 방법으로 나뉜다. 초음파 치석제거기(Ultrasonic scaler)는 18,000 ~ 60,000 Hz의 고주파 진동을 이용하여 치석을 제거하며, 비교적 적은 압력으로도 효과적인 치석 제거가 가능하다는 장점이 있다. 또한, 기존 연구에서는 초음파 치석제거기가 수동 스케일러(Manual scaler)보다 치료 시간이 짧고 작업 효율성이 높다고 보고된 바 있다(6-8). 그러나 초음파 치석제거기 사용 시 냉각수가 필요하며, 이로 인해 에어로졸 및 비말이 생성되어 감염 위험을 증가시킬 수 있다는 단점이 있다. 또한, 초음파 스케일러가 수동 스케일러에 비해 치석 제거 효율성이 어느 정도 우수한지에 대한 최신 연구가 부족하다. 치주 치료의 성공은 치아 표면에 있는 딱딱한 침전물과 부드러운 침전물을 효과적으로 제거하는 데 달려 있다. 다양한 연구 결과에 따르면, 수기구와 기계적 기구인 초음파 스케일러는 치은연하 침전물 제거에 있어 큰 차이를 보이지 않는 것으로 보고되고 있다(8, 9). 초음파 기구는 수기구보다 치근 구조를 덜 손상시키지만, 더 거친 표면을 남길 수 있다. 이에 따라, 치주염 환자에게 치주치료를 진행할 때, 초음파 기구를 사용한 후 치근 표면을 매끄럽게 다듬기 위해 수기구의 추가 사용이 권장된다(10).

한편, 치과위생사는 치료 시 환자의 구강 내 좁은 시야에서 반복적이고 정밀한 작업을 수행하는 과정에서 장시간 부적절한 자세를 유지하게 된다. 이로 인해 어깨, 목, 허리, 손과 손목 등의 근골격계에 부담이 누적될 수 있다(11). 이러한 작업 환경은 근골격계 질환(Musculoskeletal disorders)의 주요 원인으로 작용하며, 실제로 치과위생사 및 치과의사에게 근골격계 질환은 심각한 직업 건강 문제로 보고되고 있다(11-15).

이러한 작업자세의 문제와 근골격계 부담을 고려할 때 초음파 치석제거기와 수기구 사용 시 치과위생사의 작업 자세와 관절 각도에 미치는 영향을 직접 비교한 연구는 매우 제한적이며, 이에 대한 과학적 근거 또한 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 초음파 치석제거기와 수기구를 이용한 치석제거 시 치석 제거 효과를 비교하고, 작업자에게 발생하는 신체 자세 및 관절 각도의 차이를 분석함으로써, 임상적 효율성과 근골격계 부담 간의 균형을 모색하고자 한다.

2. 연구대상 및 방법

2.1. 연구 대상자 선정

본 연구는 00대학교 생명연구윤리심의위원회의 승인을 받았다(1041107-202304-HR-075-01). 연구 대상자는 편의추출법으로 모집하였으며, 연구 참여에 서면으로 동의하고 자발적으로 참여한 자만을 포함하였다. 연구대상 포함 기준은 전반적인 건강 상태가 양호하며 18.5 이상과 24.9이하의 정상 범주의 Body Mass Index (BMI)를 가진 20-40세의 치과위생사였다. 제외 기준은 근골격계 질환 진단을 받았거나, 최근 6개월 이내 지속적인 근골격계 통증을 경험한 사람이었다. G*power 프로그램(version 3.1.9.7; Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Germany)에서 paired t-test수행 (0.5의 effect

size, 0.9의 power, 0.05의 1종 오류) 시 필요한 연구대상자 수가 36명임을 확인하였다(16). 실제 연구 참여자는 37명이고 모든 연구대상자의 BMI를 계산하기 위하여 키와 몸무게를 조사하였다(17, 18).

2.2. 인공 치석 형성 치면과 사용 기구

연구 대상자는 두 개의 덴티폼(NISSIM Type 2, Nissin Dental Products Inc., Kyoto, Japan)에 치석제거를 수행하였다. 하나는 초음파 스케일러(Type A, EMS Co., Ltd., Nyon, Switzerland) 적용을 위해 사용되었고, 다른 하나는 수동 스케일러 적용을 위한 것이었다. 초음파 스케일러와 수기구 치석제거 시 모두 치경은 준비되어 있었으며, 수기구 치석제거 시 시클 스케일러(Sj34/356, Hu-Friedy, Chicago, IL, USA)와 그레이시큐렛(SG11/126, SG13/146, Hu-Friedy, Chicago, IL, USA)이 준비되어 있어 연구대상자가 사용하기 편한 기구를 선택하여 치석제거를 수행하도록 하였다.

연구 대상자에 인공치석은 치은 연상에 형성되어 있음을 사전에 고지하였다. 모든 덴티폼에서 실험 부위는 치은연상이며 총 4부위(Sector)에 형성하였다: 상악 우측 구치부(#14~17) 구개측, 상악 좌측 구치부(#24~27) 협측, 하악 좌측 구치부(#34~37) 협측, 하악 우측 구치부(#44~47) 설측

치석은 치경부(치아와 잇몸 경계 부위)에서 가장 잘 형성되므로, 치석형성을 모사하기위해 덴티폼의 치관부에 유색 바니쉬(29호, 트리샤, 인천, 한국)를 고르게 도포한 후 완전히 건조하여 인공 치석을 형성하였다. 이는 치경부 중심으로 치주염이 진행된다는 선행연구 결과를 기반으로 한다(19). 실험 시작 전 모든 부위에서 동일한 인공치석이 형성된 초기 상태(Baseline)를 유지하였다.

2.3. 인공 치석의 제거 및 제거 면적 평가

이전 연구를 참고하여 각 부위당 1분씩, 총 4분의 치석 제거 시간이 주어짐을 연구 대상자에게 안내하였다(20). 모든 연구대상자는 11시 방향에서 스툴에 앉아 치석 제거를 시행하였다. 연구자가 대상자의 치석 제거 방법에 개입하지 않았으며, 평소 본인의 습관대로 치석 제거를 수행하도록 하였다.

실험 종료 후, 각 덴티폼은 고정된 거리 30 cm와 수직 각도 90 °에서 동일한 조명 조건 하에 카메라(iPhone 13 Pro Max, Apple Inc., Cupertino, CA, USA)를 사용하여 촬영하였다. 촬영된 이미지는 분석 소프트웨어(Image Pro Premier 9.1, Media Cybernetics, Inc., MD, USA)로 분석하였으며, 치경부에서 가까운 치관의 하단 절반을 사전에 설정된 관심 영역(Region of Interest)으로 정의하였다. 관심영역 내에서 바니쉬가 제거된 면적을 전체 바니쉬 도포 면적 대비 백분율로 환산하여 정량적으로 평가하였다.

2.4. 관절각도 조사

관절 각도를 평가하기 위해 비디오 기반 동작 분석 장비(MyoVideo, Noraxon, AZ, USA)를 사용하였고 정확한 움직임 분석을 위해 반사 마커(Reflective marker)를 술자의 신체에 부착하였다. 각 센서의 부착 위치는 다음과 같다: 귀 앞쪽(Anterior tragus), 목(제7경추;7th cervical vertebra), 허리(제3요추;3rd lumbar vertebra), 어깨(견봉부;Acromion), 팔꿈치 외측상과부(Lateral epicondyle), 손목(척측 수근돌기;Ulna styloid process), 손의 위치를 확인하기 위해 제2중수골두(Head of the second metacarpal on the dorsum of the hand) (Figure 1). 이 중 귀 앞쪽, 제7경추, 제3요추에 부착된 센서는 각각 경추 굴곡(Cervical spine flexion)과 요추 굴곡(Lumbar spine flexion)을 측정하기 위한 것으로, 이는 고개를 숙이거나 허리를 굽히는 움직임의 각도를 의미한다. 어깨, 팔꿈치, 손목, 손등에 부착된 센서는 각각 어깨 굴곡(Shoulder flexion), 팔꿈치 굴곡(Elbow flexion), 손목 굴절 및 신전(Wrist flexion/extension)을 측정하였다.

센서는 술자의 우측(Right side)에 부착되었으며, 초당 100 Hz 샘플링 속도로 데이터를 수집하였다. 실험 동안 술자의 자세와 움직임은 고속 비디오 카메라(120 fps, 1080p 해상도)를 이용하여 촬영하였으며, 실험 환경에서 일정한 조명과 촬영 거리를 유지하여 일관된 데이터 수집이 가능하도록 하였다. 수집된 관절 각도 데이터는 상악(Maxillary)과 하악(Mandibular) 부위로 나누어 전용 소프트웨어(MyoResearch 3.12, Noraxon, AZ, USA)를 이용하여 분석하였다.

2.5. 통계분석

이미지 분석과 관절각도 분석은 각각 1명의 독립적인 분석자가 수행하였으며, 분석 간 일관성을 평가하기 위해 급내상관계수(Intraclass correlation coefficient)를 계산하였다. 치석 제거율 비교를 위해 상악-하악 및 좌우 부위를 기준으로 paired t-test를 시행하였다. 또한, 치아 부위별 관절 각도의 차이를 평가하기 위해 one-way ANOVA를 수행하였으며, 사후 검정으로 Scheffé's multiple comparison test를 사용하였다. 통계 분석은 IBM SPSS Statistics (version 27.0, IBM Corp., NY, USA) 소프트웨어를 이용하여 유의수준(α) 0.05에서 수행하였다.

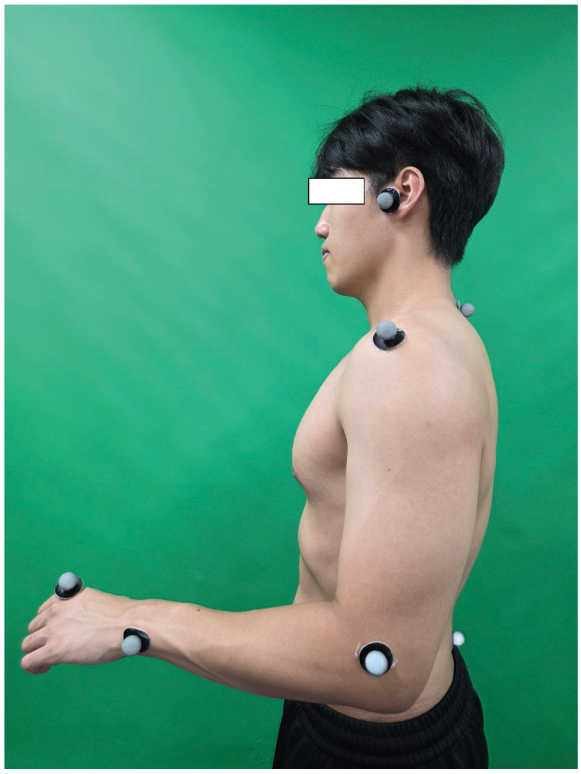


Figure 1. Reflective marker placement on the anterior tragus, 7th cervical vertebra, 3rd lumbar vertebra, acromion, lateral epicondyle, ulnar styloid process, and head of the second metacarpal on the dorsum of the hand for video-based motion analysis.

3. 연구결과

3.1. 연구대상자 특성

연구 대상자는 총 37명이었으며, 평균 연령은 25.04±3.45세, 평균 신장은 162.40±4.76 cm, 평균 체중은 53.48±5.35 kg으로 모든 대상자가 정상 범위의 BMI를 가지고 있었다.

3.2. 치석 제거율 비교

Fédération Dentaire Internationale (FDI) 2자리 치아 번호 체계에 따라 부위별로 스케일링 전후의 인공 치석 면적을 비교한 결과, 초음파 스케일러와 수기구 모두에서 스케일링 후 인공 치석 면적이 통계적으로 유의하게 감소함을 확인할 수 있

었다(p<0.001). 초음파 스케일러 그룹에서는 치아 부위 간에 유의한 차이가 없었으나(p=0.055), 사후분석 결과 30번대와 40번대 부위 간에는 통계적으로 유의한 차이가 확인되었다(p<0.05, Table 1).

상악과 하악, 협면과 설면(구개면 포함)으로 나눠보았을 때에도 모두 초음파 스케일러를 이용한 경우가 수기구보다 치석제거율이 높게 나타났다(p<0.001). 전체적으로 초음파 스케일러(15.78±5.10 mm²)가 수동 스케일러(11.97±4.77 mm²)보다 더 많은 치석을 제거한 것으로 확인되었다(Table 2).

Table 1. Comparison of artificial calculus area before and after scaling using ultrasonic and manual scalers

(Unit: mm²)

Scaling method	Dentition areas*	N	Remaining artificial calculus area (Mean±SD)		p-value**
			Before	After	
Ultrasonic scaler	10	37	26.03±2.60	10.14±4.67[ab]	<0.001
	20	37	26.96±2.85	10.78±5.46[ab]	<0.001
	30	37	26.73±2.68	12.44±5.15[a]	<0.001
	40	37	25.84±2.40	9.10±5.84[b]	<0.001
	p-value†		0.206	0.055	
Manual scaler	10	37	26.16±2.36	14.59±5.38	<0.001
	20	37	26.86±2.83	15.07±5.02	<0.001
	30	37	26.78±2.35	14.03±5.46	<0.001
	40	37	25.71±2.32	13.92±5.68	<0.001
	p-value†		0.151	0.781	

* Dentition areas classified according to the FDI World Dental Federation notation.
** p-values obtained through paired t-test analysis.
† p-values obtained through one-way ANOVA analysis
[a, b]: Values with different superscript letters within the same column are significantly different (p < 0.05).

Table 2. Comparison of calculus removal area by tooth arch region using ultrasonic and manual scalers

(Unit: mm²)

Arch areas	Scaling method	Area removed (Mean±SD)	p-value*
Maxillary	Ultrasonic scaler	16.04±4.99	<0.001
	Manual scaler	11.68±4.31	
Mandibular	Ultrasonic scaler	15.52±5.23	<0.001
	Manual scaler	12.27±5.20	
Buccal	Ultrasonic scaler	16.32±5.52	<0.001
	Manual scaler	11.68±4.81	
Lingual (included palatal)	Ultrasonic scaler	15.23±4.62	<0.001
	Manual scaler	12.27±4.75	
Total parts sum	Ultrasonic scaler	15.78±5.10	<0.001
	Manual scaler	11.97±4.77	

* p-values obtained through paired t-test analysis

3.3. 관절 각도 분석

요추 굴곡의 경우, 초음파 스케일러 사용 시 상악에서 103.75±15.86 °로 측정되었으며, 이는 수동 스케일러 사용 시(108.39±15.59 °)보다 유의하게 낮아 초음파 스케일러 사용 시 요추의 굽힘이 덜 발생함을 나타냈다(p=0.010). 팔꿈치 굴곡은 상악에 초음파 스케일러를 사용할 때(73.97±16.52 °) 수동 스케일러(67.70±14.30 °)보다 90 °에 가까워(p=0.010), 초음파 스케일러 사용 시 상대적으로 중립위에 가까운 올바른 자세로 수행함을 확인하였다. 손목 굴절 및 신전의 경우, 하악에서 초음파 스케일러를 사용할 때(41.35±18.79 °) 수동 스케일러(48.43±20.73 °)보다 손목의 움직임이 감소하는 경향을 보였으며,

통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p=0.035). 반면, 경추 굴곡은 상·하악 모두에서 통계적으로 유의한 차이가 없었으며(p>0.05), 요추 굴곡 또한 하악에서는 유의한 차이가 관찰되지 않았다(p=0.098).

Table 3. Comparison of the joint angles of the operator according to the use of ultrasonic and manual scalers (Unit: °)

	Arch areas	Ultrasonic scaler (Mean±SD)	Manual scaler (Mean±SD)	95% CI*	p-value**
Cervical spine flexion	Maxillary	39.48±23.16	42.52±17.40	-5.78-11.87	0.489
	Mandibular	49.57±20.71	45.45±19.90	-13.75-5.52	0.392
Lumbar spine flexion	Maxillary	103.75±15.86	108.39±15.59	1.18-8.09	0.010
	Mandibular	99.74±11.19	101.71±11.64	-0.38-4.31	0.098
Elbow flexion	Maxillary	73.97±16.52	67.70±14.30	-10.96--1.57	0.010
	Mandibular	72.86±14.41	70.79±14.26	-5.55-1.42	0.237
Wrist flexion/ extension	Maxillary	37.86±11.95	35.31±13.97	-6.00-0.90	0.142
	Mandibular	41.35±18.79	48.43±20.73	0.53-13.64	0.035

* 95% confidence interval for the mean difference between methods.
** Statistical significance was determined by paired t-test.

4. 고안

본 연구에서는 초음파 스케일러와 수동 스케일러를 이용한 치석 제거율과 술자의 관절 각도를 비교하였다. 그 결과, 초음파 스케일러는 수동 스케일러보다 모든 부위에서 유의미하게 높은 치석 제거율을 보였으며(p<0.001), 특히 협면에서 가장 우수한 제거 효과를 나타냈다. 이러한 결과는 고주파 진동을 이용해 치석을 효과적으로 분리하는 초음파 기구의 물리적 특성에 기인하며, 기존 연구와도 일치한다(21).

관절 각도 분석 결과, 초음파 스케일러 사용 시 허리, 팔꿈치, 손목 부위에서 전반적으로 더 중립자세에 가까운 각도 분포를 보여 작업자의 근골격계 부담 완화에 긍정적인 영향을 줄 수 있음을 시사한다. 요추 굴곡의 경우, 상악 시술 시 수기구 사용 시 평균 굴곡각은 108.39 °, 초음파 스케일러 사용 시는 103.75 °로 유의하게 감소하였다(p=0.010). 요추 굴곡각이 작아질수록 더 구부린 자세를 의미하므로, 이 결과는 초음파 스케일러 사용 시 작업자가 허리를 덜 굽힌 상태를 유지함을 보여준다. 이는 인체공학적으로 권장되는 중립자세(허리를 곧게 펴고 자연스러운 정렬을 유지)와 더 가까운 결과로, 허리 근육의 피로도 및 장기적인 요통 발생 위험을 줄이는 데 기여할 수 있다. 수기구를 이용한 치석제거 시 목과 어깨에 과도한 근육 부하 및 넓은 각도 분포가 발생함을 모션 캡처 기반으로 분석한 연구에서도 본 연구결과와 유사한 결과를 제시하고 있다(22). 수기구 사용 시 어깨나 목의 구부림이 심해지고 상체 부담이 상대적으로 크다는 점으로 초음파 스케일러 이용을 통해 중립자세 유지에 유리하다는 점을 뒷받침한다.

팔꿈치 굴곡은 상악 시술에서 수기구 사용 시 67.70 °, 초음파 스케일러 사용 시 73.97 °로 나타나 유의한 차이를 보였다(p=0.010). 일반적으로 팔꿈치의 이상적인 중립 굴곡각도는 약 90 °로 간주되며, 60~100 °의 범위 내가 권장된다(23, 24). 초음파 스케일러의 경우 이 권장 범위에 보다 부합하며, 수기구 사용 시보다 중립자세에 더 가까운 자세를 유도함으로써 팔꿈치 관절의 반복적 긴장을 완화할 수 있는 가능성을 보여준다.

선행연구에서 치과위생사들의 근골격계 질환 중에서 가장 빈번하게 경험하는 신체부위가 수근관증후근으로 보고하고 있다. 연구 시점과 대상자에 따라 상이하지만 42-75%에서 손목에 문제를 경험하거나 의심 증상이 있었음을 보고하고 있다(25, 26). 본 연구에서는 손목의 경우 하악 시술에서 수기구 사용 시 평균 굴곡/신전각은 48.43 °, 초음파 스케일러 사용 시는 41.35 °로 유의하게 감소하였다(p=0.035). 손목의 굴곡/신전각은 35 ° 이내가 바람직하다고 여겨지며(23, 24), 이 범위를 벗어날 경우 수근관 증후군 등 근골격계 질환 발생 위험이 증가할 수 있다. 두 기구 모두 중립범위를 초과하였으나, 초음파 스케일러는 상

대적으로 손목의 비중립 자세에서 벗어나는 정도가 줄어들어, 장기적으로는 손목 부담을 경감하는 데 더 효과적일 수 있다. 반면 수기구는 엄지와 집게손가락에 높은 핀치 압력이 반복적으로 가해지며, 이로 인해 손목과 팔꿈치 관절에 과도한 부하가 유발된다(27). 따라서 이는 초음파 스케일러 사용 시 전완부 근육의 근전도 활동이 감소한다는 기존 연구 결과와도 일부 부합한다고 할 수 있다(28).

한편, 초음파 스케일러의 장점에도 불구하고 진동 노출에 따른 신경 및 혈관계 이상, 즉 손-팔 진동 증후군(Hand-arm vibration syndrome)의 위험성도 함께 고려해야 한다. Åkesson I et al.(29)은 치과 종사자 대상 연구에서 고주파 진동 노출이 말초신경병증 및 감각 기능 저하와 관련 있음을 밝혔으며, 최근 문헌 고찰에서도 손-팔 진동 증후군으로 인한 혈관·신경·근골격계 이상 증상 사례가 보고되고 있다(30). 하지만 이와 관련된 내용은 하나의 결론으로 제시되기에는 한계가 있다. 일부 연구에서는 초음파 스케일러에서 발생하는 진동은 초음파 스케일러에서 발생되는 물의 흐름으로 진동이 감쇠되어 손목이나 손에 전달되는 진동 수준이 적어질 수 있다고 하였다(31).

이상의 결과를 종합하면, 초음파 스케일러는 치석 제거의 효율성과 작업자 관절 자세의 중립성 측면에서 수기구보다 유리한 특성을 가지지만, 진동 노출의 잠재적 위험성은 병행하여 관리되어야 한다. 따라서 치과위생사의 근골격계 질환을 예방하기 위해, 작업 자세 개선, 기구 선택 기준 수립, 반복작업 방지, 진동 저감 기술 활용 등의 종합적 접근이 필요하다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가진다. 첫째, 인공 치석의 제거 면적만을 기준으로 효율성을 평가하였으며, 실제 환자 구강 내 다양한 조건은 고려되지 않았다. 둘째, 실험이 덴티폼 상에서 수행되어 임상적 복잡성을 완전하게 반영하지 못했다. 셋째, 관절 각도의 분석은 단기적인 관찰에 그쳤으며, 누적 피로나 장기 손상 가능성은 평가하지 못하였다. 넷째, 관절 각도 변화와 실제 임상 효율성(예: 시술 시간, 정확도) 간의 연관성을 분석하지 않은 점도 보완이 필요하다.

향후 연구에서는 관절 각도, 근전도 분석(Electromyography, EMG), 진동 노출량, 감각 기능 변화 등의 지표를 통합적으로 분석하는 종합 평가 프레임워크를 개발하여, 치과위생사의 근골격계 부담을 최소화할 수 있는 실질적인 술식 개선 방안이 제시되어야 할 것이다. 또한, 실제 임상 현장을 반영한 장기 추적 연구를 통해, 도구 사용 방식에 따른 근골격계 질환 발생률 차이를 규명할 필요가 있다.

5. 결론

본 연구를 통해 초음파 스케일러는 수동 스케일러에 비해 전반적으로 더 높은 치석 제거 효율을 보이며, 요추 및 손목의 굴곡과 신전 각도를 감소시켜 작업자의 근골격계 부담을 완화하는 데 기여할 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 초음파 스케일러가 치석 제거의 효율성과 작업자의 인체공학적 안전을 동시에 고려해야 하는 임상 환경에서 효과적인 도구로 활용될 가능성을 시사한다. 다만, 관절 각도 감소는 수기구에 비해 상대적인 개선을 의미하며, 절대적으로 인체공학적 부담이 없는 것은 아니므로 장시간 반복 사용 시 발생할 수 있는 부정적 영향 또한 고려되어야 한다. 따라서 초음파 스케일러 사용 시에도 보다 중립적인 자세 유지를 위한 교육, 인체공학적 술식, 그리고 작업 환경의 지속적 개선이 필요하다.

Author contributions

Conceptualization: HN Kim, TL Yoon and JH Min, Methodology: HN Kim, TL Yoon and JH Min, Formal Analysis: HN Kim, TL Yoon and JH Min, Investigation: HN Kim, Writing—Original Draft Preparation: JH Min, Writing—Review & Editing: HN Kim, TL Yoon and JH Min.

References

1. Lee DS, Han GS. Problems to solve and job enlargement on the inclusion of dental hygienists in the category of medical personnel. J Dent Hyg Sci 2018;18(6):340-348. 10.17135/jdhs.2018.18.6.340.
2. Lee YS, Ahn YS, Lim DS. A study on the job analysis of dental hygienists in dental (clinics) hospitals the capital region. J Dent Hyg Sci 2004;4(1):33-38.
3. White DJ. Processes contributing to the formation of dental calculus. Biofouling 1991;4(1-3):209-218. 10.1080/08927019109378211.
4. Aghanashini S, Puvvalla B, Mundinamane DB, Apoorva SM, Bhat D, Lalwani M. A comprehensive review on dental calculus. Journal of Health Sciences & Research 2016;7(2):42-50. 10.5005/jp-journals-10042-1034.
5. Suvan JE. Effectiveness of mechanical nonsurgical pocket therapy. Periodontol 2000 2005;37(1):48-71. 10.1111/j.1600-0757.2004.03794.x.
6. Yukna RA, Scott JB, Aichelmann-Reidy ME, LeBlanc DM, Mayer ET. Clinical evaluation of the speed and effectiveness of subgingival calculus removal on single-rooted teeth with diamond-coated ultrasonic tips. J Periodont 1997;68(5):436-442. 10.1902/jop.1997.68.5.436.
7. Laurell L, Pettersson B. Periodontal healing after treatment with either the titan-S sonic scaler or hand instruments. Swed Dent J 1988;12(5):187-192.
8. Copulos TA, Low SB, Walker CB, Trebilcock YY, Hefti AF. Comparative analysis between a modified ultrasonic tip and hand instruments on clinical parameters of periodontal disease. J Periodont 1993;64(8):694-700. 10.1902/jop.1993.64.8.694.
9. Oda S, Nitta H, Setoguchi T, Izumi Y, Ishikawa I. Current concepts and advances in manual and power-driven instrumentation. Periodontol 2000 2004;36(1):45-58. 10.1111/j.1600-0757.2004.03674.x.
10. Ruppert M, Cadosch J, Guindy J, Case D, Zappa U. In vivo ultrasonic debridement forces in bicuspids: a pilot study. J Periodont 2002;73(4):418-422. 10.1902/jop.2002.73.4.418.
11. Kim MA, Seo HJ. Dental hygienists work on the impact of factors associated with musculoskeletal pain J Dent Hyg Sci 2012;12(6):558-565.
12. Gupta A, Bhat M, Mohammed T, Bansal N, Gupta G. Ergonomics in dentistry. Int J Clin Pediatr Dent 2014;7(1):30-34. 10.5005/jp-journals-10005-1229.
13. Hayes MJ, Cockrell D, Smith DR. A systematic review of musculoskeletal disorders among dental professionals. Int J Dent Hyg 2009;7(3):159-165. 10.1111/j.1601-5037.2009.00395.x.
14. Leggat PA, Kedjarune U, Smith DR. Occupational health problems in modern dentistry: a review. Ind Health 2007;45(5):611-621. 10.2486/indhealth.45.611.
15. Han JH, Kim J, Nam SH, Kim CH. A correlation between the perceived symptom of musculoskeletal diseases and psychosocial factors of dental professionals in C region. J Dent Hyg Sci 2010;10(4):279–286.
16. Faul F, Erdfelder E, Lang A, Buchner A. G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. Behav Res Methods 2007;39(2):175-191. 10.3758/bf03193146.
17. Viester L, Verhagen EA, Oude Hengel KM, Koppes LL, van der Beek AJ, Bongers PM. The relation between body mass index and musculoskeletal symptoms in the working population. BMC Musculoskelet Disord 2013;14(1):238. 10.1186/1471-2474-14-238.
18. Kong YM, Han GS. Relationships between obesity types and periodontitis according to characteristics of subjects. J Dent Hyg Sci 2012;12(3):279-286.
19. Lee DE, Kim JH, Shin DH, Cha JH, Bak EJ, Yoo YJ. Odontoclast and osteoclast formation in rats with ligature-induced periodontitis. J Dent Hyg Sci 2015;15(3):295–300. 10.17135/jdhs.2015.15.3.295.

20. Yoon TL, Min JH, Kim HN. Effect of using an 8-figure shoulder brace on posture and muscle activities during the performance of dental hygiene procedures. Int J Environ Res Public Health 2020;17(22):8494. 10.3390/ijerph17228494.
21. Yukna RA, Vastardis S, Mayer ET. Calculus removal with diamond-coated ultrasonic inserts in vitro. J Periodontol 2007;78(1):122-126. 10.1902/jop.2007.060207.
22. La Delfa NJ, Grondin DE, Cox J, Potvin JR, Howarth SJ. The biomechanical demands of manual scaling on the shoulders and neck of dental hygienists. Ergonomics 2016;60(1):127-137. 10.1080/00140139.2016.1171402.
23. Sanders MJ, Turcotte CA. Ergonomic strategies for dental professionals. Work 1997;8(1):55–72. 10.3233/WOR-1997-8107.
24. Gehrig JS, Sroda R, Saccuzzo D. Fundamentals of Periodontal Instrumentation and Advanced Root Instrumentation. 9th edition. Burlington: Jones & Bartlett Learning; 2025:1-36.
25. Lalumandier JA, McPhee SD. Prevalence and risk factors of hand problems and carpal tunnel syndrome among dental hygienists. J Dent Hyg 2001;75(2):130-134.
26. Anton D, Rosecrance J, Merlino L, Cook T. Prevalence of musculoskeletal symptoms and carpal tunnel syndrome among dental hygienists. Am J Ind Med 2002;42(3):248–257. 10.1002/ajim.10110.
27. Villanueva A, Dong H, Rempel D. A biomechanical analysis of applied pinch force during periodontal scaling. J Biomech 2007;40(9):1910-1915. 10.1016/j.jbiomech.2006.09.001.
28. Åkesson I, Balogh I, Hansson G. Physical workload in neck, shoulders and wrists/hands in dental hygienists during a work-day. Appl Ergon 2012;43(4):803-811. 10.1016/j.apergo.2011.12.001.
29. Akesson I, Lundborg G, Horstmann V, Skerfving S. Neuropathy in female dental personnel exposed to high frequency vibrations. Occup Environ Med 1995;52(2):116-123. 10.1136/oem.52.2.116.
30. Turcot A, Hamel D, Tessier M. Hand-arm vibration syndrome in dentistry: a questionnaire survey among dentists and review of literature. Proceedings 2023;86(1):17. 10.3390/proceedings2023086017.
31. Lea SC, Landini G, Walmsley AD. Vibration characteristics of ultrasonic scalers assessed with scanning laser vibrometry. J Dent 2002;30(4):147-151. 10.1016/s0300-5712(02)00009-x.