

一 総説 一

歯磨きについて

早崎治明¹⁾, 大島邦子²⁾

¹⁾新潟大学大学院医歯学総合研究科 小児歯科学分野

²⁾新潟大学医歯学総合病院 小児歯科・障がい者歯科診療室

Tooth brushing

Haruaki Hayasaki¹⁾, Kuniko Nakakura-Ohshima²⁾

¹⁾Division of Pediatric Dentistry, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Science

²⁾Pediatric Dentistry and Special Needs Dentistry, Niigata University Medical & Dental Hospital

平成 26 年 4 月 18 日受付 平成 26 年 4 月 21 日受理

キーワード：歯磨き，歯ブラシ，歯垢除去，動作解析

【緒 言】

「歯磨き」は歯科の診療において最も基本的な指導項目である。これまでの歯科保健教育により国民の殆どは、歯磨きによる日々の歯垢の除去が、う蝕予防、歯周病予防に必要なことを理解し、自らの健康増進のために毎日歯磨きを実践している。このように歯磨きに関する国民の取り組みは、理想に近い状況にあるにもかかわらず、診療室における患者さんの口腔内の状況を見てみると、歯科医療従事者が期待しているような状況にない。そこで、この総説では歯磨きについて文献的考察を行うとともに、これからの歯磨きの在り方について考えてみたい。

乳歯は0歳から萌出することから、保護者等の介助磨きが欠かせず、その必要性は地域の保健所等により出生前から教育されている。平成23年歯科疾患実態調査によると、乳歯にう蝕のある小児の割合は減少の一途をたどっており、5歳児、6歳児は昭和62年に比べ、約半数近くに減少し、低年齢ではよりその傾向が強く(図1)、う蝕の本数(dft指数)はそれ以上に低減している(図2)。中でも、図中に示す通り、新潟県の値は全国平均よりさらに低い数値を示している。一方、高齢者においても8020運動の取り組みが奏功し、その達成率は30%に近付きつつある(図3)。

この歯科疾患実態調査における歯ブラシの使用状況の年次推移によると、95%以上の国民が毎日歯磨きを行い、そのうちの4人に3人が1日2回以上の歯磨きを行っている。この数字を見る限り、これ以上、日常的な歯磨きの回数によって歯科疾患の改善を望むことは難しいので

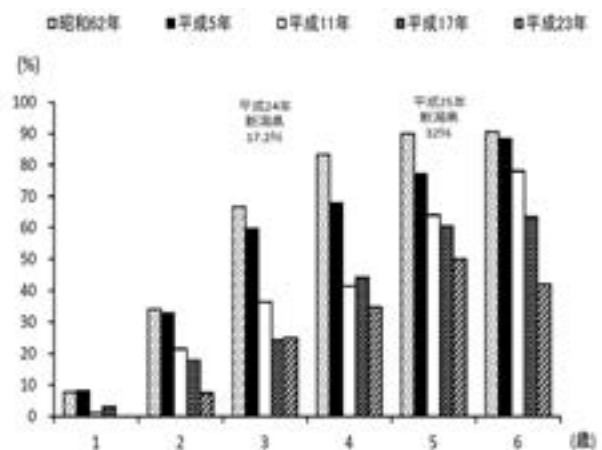


図1 現在歯の乳歯にう蝕を持つ者の割合の年次推移 (平成23年歯科疾患実態調査)

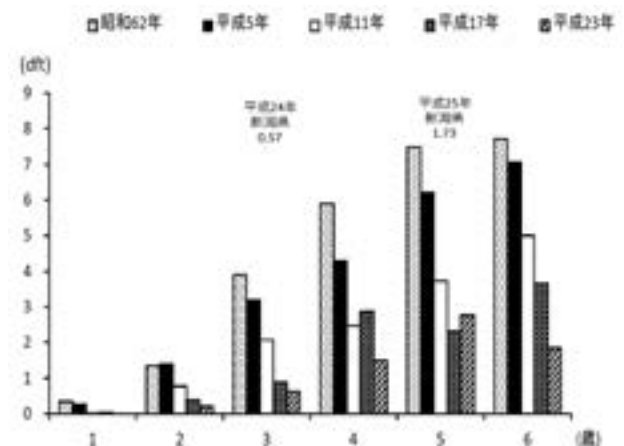


図2 乳歯の1人平均う蝕数 (dft 指数) の年次推移 (平成23年歯科疾患実態調査)

表1 歯ブラシの使用状況の年次推移 (平成23年歯科疾患実態調査)

調査年	総数 (人)	みがかない者	ときどきみがく者	毎日みがく者				不祥
				1回	2回	3回以上	回数不祥	
昭和44年	20,415	8.1	11.8	62.8	15.1	1.8	-	0.4
昭和50年	15,816	4.3	9.2	53.4	24.6	2.6	-	5.8
昭和56年	14,462	2.4	7.1	46.4	36.6	7.5	-	-
昭和62年	12,474	1.3	5.5	38.6	41.7	13.0	-	-
平成5年	9,827	1.1	3.9	33.0	44.9	16.1	-	1.0
平成11年	6,903	1.3	2.5	28.7	47.5	18.8	-	1.2
平成17年	4,606	1.3	2.4	25.4	48.7	20.8	-	1.4
平成23年	4,253	1.2	1.8	21.9	48.3	25.2	0.0	1.6

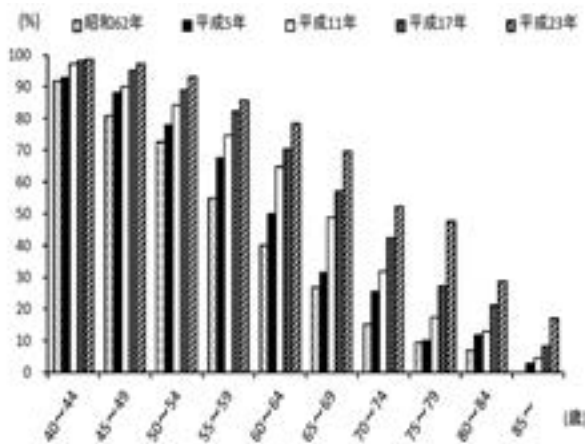


図3 20本以上の歯を有する者の割合の年次推移 (平成23年歯科疾患実態調査)

はないだろうか (表1)。この歯磨きに使用する歯ブラシの1つとして電動歯ブラシが開発されたのが、今からおよそ50年前である。その普及は目覚ましいものがあるが、数多く開発されてきた電動歯ブラシの中でも、正逆両方向に回転する電動歯ブラシだけが、手用歯ブラシよりも有効であることが示されている¹⁾。歯ブラシによる歯垢除去量は、個人の歯ブラシの動かし方に関する「巧みさ」が極めて大きな影響を与えることが示されていることから、この電動歯ブラシの結果についても、そして手用歯ブラシについても、疫学的調査や臨床的研究において、これを評価する規格が必要であることが示唆されている¹⁴⁾。

【手用歯ブラシの形状・設計】

毛歯ブラシは18世紀の間に開発されたが、比較的安価な、現在のタイプのプラスチック・ハンドル付きナイロン歯ブラシは、1930年代に開発された。それ以来欧米において多種多様な歯ブラシの設計が提案され、現在、日本では450種類以上の手用歯ブラシが市販されている。近年の歯ブラシは、植毛形態に種々の特徴をもち、さらに、1本1本の毛の硬さや一束に含まれる毛の本数、

表2 残存歯垢評価に用いられている主な指数

Authors	Year	Method
Quigley & Hein	1962	Quigley and Hein (Q & H) plaque index
Silness & Loe	1964	Silness and Loe plaque index
Turesky et al.	1970	Turesky modification of the Q & H plaque index
Elliott et al.	1972	Navy plaque index
O'Leary et al.	1972	O'Leary plaque control record
Lobene et al.	1982	Lobene modification of the Q & H plaque index
Rustogi et al.	1992	Rustogi modification Navy plaque index

毛先の太さなどに各種の工夫が凝らされている。しかし、特定の歯ブラシが、他の歯ブラシより明らかに歯垢除去能力が優れている、というものは開発されるに至っていない。

RobertsonとWadeは、一般的に柔らかい毛よりも中間的あるいは硬めの毛先の方が有意に歯垢の除去ができることを示し⁵⁾、GibsonとWadeは、歯肉縁における歯垢除去率において直径0.2mmが0.18mmより有効であることを示しているが⁶⁾、VowlesとWadeは、ローリング法を用いた場合に限定して歯垢除去率を比較し、0.28mmが0.13mmより有意に除去率が高かったと報告している⁷⁾。従って、歯垢除去にはある程度、毛の強さがなければならないと考えられる。多くの日本製の歯ブラシはこの範疇にある。

元来、歯ブラシのデザインは、その使用者の多くが単純な横磨きを行うことを前提として作られている。従来の歯ブラシのヘッドは多数の直立する束を有していたが、近年の歯ブラシの中には、毛束の一部が直立せず、例えば15°程度傾いているものも市販されている。Slotらのシステムティック・レビューによると⁸⁾、歯垢除去能について、特定の歯ブラシ法における歯磨き指導は、指導前に比較して平均42%の効果があると報告されている。そして、歯垢除去効率に最も影響を与える因子は、歯ブラシの形態、すなわち毛や毛束の形態 (flat-trim : 通常のタイプ, multilevel : 毛束の高さが何種類かが混

表3 手用歯ブラシと電動歯ブラシの歯垢除去能の比較

Authors	Year	Manual Brush (MB)	Powered Brush (PB)	No.of Subjects	Differences MB < PB (%)
Nathoo et al.	2003	Oral-B Cross Action	Colgate Motion	126	42.1
Singh et al.	2005	Oral-B Indicator	Colgate MicroSonic	39	52.9
Ghassemi et al.	2013	Oral-B Indicator 30 CS	Spin brush GLOBRUSH	103	12.8

MB：手用歯ブラシ，PB：電動歯ブラシ

在しているもの、angled：横から見た時に毛束が倒れたものが混ざったもの等）と歯磨き時間としている。

メーカーのデザインの変更は、歯垢除去という目的に合致した方向に向かいつつある⁹⁾。従来の平らで整然とした硬い毛束が一塊としてヘッドをなす flat-trim デザインは、必ずしも隣接面に毛先が届くものではないことが明らかになりつつある。毛の長さが異なる毛束を配置する multilevel タイプの歯ブラシは、各毛束が異なる動きをすることにより、相互に動きを変化させ、結果的に長い毛束の一部が効果的に隣接面に届くことが明らかになってきている¹⁰⁾。例えば、the Navy index と Q&H index を評価指数とした（表2）最近のシステムティックレビュー⁸⁾によれば、multilevel タイプの歯ブラシでは、これまでの歯ブラシより、それぞれ7%、9%の歯垢除去の増加が認められている。また、毛束の方向を意図的に倒した angled デザインも、それぞれ12%、15%の改善が見られており¹¹⁾、この angled デザインが隣接面の歯垢除去に有用であることは他の報告でも明らかになっている¹²⁻¹⁴⁾。

【電動歯ブラシ】

一方、電動歯ブラシは1960年の初めに紹介され^{15,16)}、今や、歯磨き指導や手の器用さとは異なるレベルで歯垢の除去ができると考えられている¹⁷⁾。また、統計学的にも、手用歯ブラシより優れていることが明らかになりつつあり（表3）、両者の比較については、2つの論文がコクランレビューに掲載されている^{1,18)}。1つは、電動歯ブラシの中でも回転と振動を伴うタイプのものが、手用歯ブラシよりも歯肉縁における歯垢除去能において優れている、としている。しかし、このレビューの問題点は異なる電動歯ブラシの比較が少なく、直接比較がなされていない。従って、確かに回転と振動の機能を有する電動歯ブラシが手用歯ブラシよりも優位であることは示しているものの、費用対効果や副作用的な現象については、更なる検証が必要であるとしている。一方、2つ目のレビューでは、より慎重な意見として、歯垢除去の量的比較が可能となる方法論について、更なる検討が必要であることに言及している¹⁹⁾。

【手用歯ブラシのテクニック】

Muller-Bolla と Courson は、小児における最も効果的な歯磨き方法を明らかにするため、小児の歯垢除去能力に関するシステムティックレビューをおこなっている²⁰⁾。それによると、6～7歳児までは水平的に動かすことが、学習し易く、最も歯垢除去効果が高い²¹⁻²⁵⁾。しかし、この方法は永久歯における隣接面および歯肉縁における歯垢除去効率が低いとされている上に、歯肉退縮や楔状欠損を招くことが明らかとなっている²⁶⁾。成人については、Bass法の有効性が多く報告されているが²⁷⁻²⁹⁾、実際の診療の場において、患者の歯磨き指導を行う際に、歯ブラシの動かし方を直接観察することは不可欠である。しかし、患者の歯磨きを観察しても、実際に歯ブラシがどのように動かされているのか？指導した方法が如何に上手く反映されているのか？などについては、実際の歯ブラシの動き、手の動きがどのように変化したのかを客観的に評価しなければならない。

近年、このような観点から歯ブラシのテクニックを歯磨き運動、あるいは、歯ブラシの動きとしてとらえる研究が始まっている^{27,30-33)}。ある研究では、家庭での歯磨きを計測するため、歯ブラシのグリップに三次元軸を設けた "Smart digital toothbrush monitoring and training system" と名付けたシステムを開発している³⁴⁾。このシステムでは、歯磨き毎にソフトウェアがキャリブレーションを行うことが可能なため、個人の磨き方が異なっても記録することができる、など汎用性が重視されている。また、より最近の研究では、加速度計を用いて、特に歯ブラシの前後方向への運動について詳細な計測が可能となっており²⁷⁾、被験者自らが、自身の歯磨き運動を確認できることができる。

日常臨床において歯磨き指導を行う機会は多いが、診療室で指導をしても、患者の日頃の歯磨きに十分に反映されるとは限らない。なぜなら、指導される歯磨き動作は、患者にとって日常の手の運動とは異なる比較的複雑なものであり、また患者のそれはすでに確立された習慣的動作である。従って、数回の診療室での指導で改善することは容易ではない。

【歯ブラシの刷掃力 (圧)】

歯ブラシの選択は、通常、その歯ブラシの機能的な特徴よりも、価格や個人の嗜好によってなされていることが明らかとなっている³⁵⁾。「日頃から一生懸命歯ブラシを行っている」ということと、「歯垢が除去されている」、ということは必ずしも一致しない。成人を対象とした研究において、歯磨きによる歯垢除去率はおよそ50%であり、1分間における歯磨きではおよそ39%しか除去できないことが明らかにされている³⁵⁾。これらの結果から、例えば1回/日の歯磨きを欠かさなくても、かなりの歯垢は口腔内に留まっているということになる。従って、口腔衛生の観点からすれば、歯垢がどこに残存し、それを除去するには、どのような歯ブラシの動き、歯ブラシの形状がいいのか、など、より詳細なエビデンスの構築が必要であり、それらに基づいたシステムティック・レビューが待たれている⁸⁾。American Dental Associationが、一般集団を対象に推奨している歯磨きは、2回/日^{36,37)}、2~3分/回、Bass法あるいはBass改良法^{27,38)}、優しい力で³²⁾、とされている。しかし、「優しい力」という曖昧な表現の詳細については、明らかにされていない。

この歯ブラシの刷掃力については、その力が大きければ大きい程、刷掃量(歯垢除去量)は大きくなるとされており³⁹⁾、平均的な刷掃力として、2.95N⁴⁰⁾、2.61N³⁹⁾、2.96N⁴¹⁾、3.23N³⁵⁾、2.3N³²⁾、などが示されている。しかし、これらの値は、歯ブラシの違いや、性差、口腔内の環境の違いなど、必ずしも直接比較できないものも含まれている。BurgettとAshは、この刷掃力について、それまでに報告された様々な論文において、歯磨き法、歯ブラシのグリップ、毛束の形状、そしてテクニックによって、1.04 N ~ 11.3 Nまでの幅があったと報告しており⁴²⁾、さらに、刷掃する部位、人種、性差(歯の大きさを含む)、年齢など、多くの要素が、刷掃力を含めた歯磨き運動に影響を与えると述べている。

過剰な刷掃力が歯肉の退縮を招くことは、歯科領域では周知の事実であるが、上記の通り、必ずしも条件が統一されていないことから、「過剰な刷掃力」を規定できるほどの結論には至っていない。数少ない報告を総合すると、刷掃力が3Nを越えなければ、為害作用はないとされている⁴³⁾。一方、歯磨きに伴う歯の摩耗(abrasion: 機械的刺激による構造の消失)は、多因子が関与した歯の擦り減り(wear)の1つの要因だとされている。歯磨きに伴う、健全なエナメル質や象牙質の摩耗自体の重要性は小さいと考えられているが⁴⁴⁾、一方でエナメル質や象牙質が浸食された結果として生じる欠損(erosion: う蝕以外の化学的な歯質の溶解による歯質の消失)に対しては有意なリスク・ファクターと考えられ

ている⁴⁵⁻⁴⁷⁾。歯磨きによる摩耗は、歯磨剤の研磨性^{48,49)}やその濃度⁵⁰⁾、歯ブラシの性質⁵¹⁾、そして刷掃力^{52,53)}、によって決まると考えられている。手用と電動の歯ブラシにおける刷掃力は、電動より手用の方が有意に大きく⁴⁷⁾、歯磨きによってエナメル質や象牙質の欠損に与える影響は電動の方が軽微であることが示されている^{54,55)}。従って、臨床的に欠損が認められる患者には、手用より電動の歯ブラシの使用が推奨されるが、一方で、これらの症状がない人にはコスト・パフォーマンスからすると手用歯ブラシを推奨する報告もある⁴⁷⁾。

【1回当たりの歯磨きの時間】

歯磨きの時間は何分が適切か? これは歯垢除去効果に直結する⁵⁶⁾。口腔衛生状態が悪い人は、歯磨きの時間が短いことは以前から指摘されてきた⁵⁷⁾。しかし、この歯磨き時間を変えることは容易ではない⁵⁸⁾。これまでに報告されている小児、成人における1回当たりの歯磨きの時間を表4に示す。歯磨きによって歯垢が効率的に除去できると考えられている時間は、上下左右歯列で各30秒あるいは45秒と考えられていることから、アメリカでは120秒、欧州では180秒⁵⁹⁾が一般的とされているが、180秒の歯磨きを期待することはできないとする報告もある⁶⁰⁾。しかし、Schlueterらは³⁴⁾、歯磨き部位の順番を示すリーフレットや診療室での指導が、歯磨き時間の延長や、磨き方の改善に役立つと報告している。

【歯垢除去効果に関する臨床研究】

臨床研究におけるゴールド・スタンダードが、無作為化比較試験である。歯垢除去の臨床研究で用いられている指標について表2に示すが、研究の目的等により使用される指標がこのように多岐に渡るため、結果としてシステムティック・レビューを行うには、それが障壁になりかねない。また、実際に無作為化比較試験を大規模で

表4 歯ブラシの平均1回使用時間(秒)

Authors	Year	Age (mean age or range)	Mean Duration (sec)
Tesini & Perlman	1994	8.4	57.8
Das & Singhal	2009	9-11	76.2
Sharma et al.	2012	8-12	85.8
Macgregor & Rugg-Gunn	1979	11-13	78.0
Macgregor & Rugg-Gunn	1985	18-22	33.0
Dentino et al.	2002	Adults	14 out of 81 spent 120 or more

行う場合、評価者間の統一は極めて重要な要素となる⁶¹⁾。さらに歯垢除去効果に関する臨床研究を難しくしている問題は、先進国においては、フッ素塗布はもとより、歯磨剤へのフッ化物の添加、キシリトール類の使用などが進んでおり、これらの因子について、使用の有無、頻度等で被験者を分類することは事実上不可能であり、歯磨きの効果自体の検証は年々困難になっている。

【歯 磨 剤】

上記のように歯磨剤へのフッ化物の添加は国内外で広く行われている。Walsらは⁶²⁾、フッ素配合歯磨剤の濃度が1,000ppm以上であれば、う蝕抑制効果があることをコクラン・ライブラリーで述べているが、日本国内では1,000ppm以上の歯磨剤の市販は許されていない。これは、特に6歳以下の小児に対する斑状歯をはじめとするフッ化物の副作用を危惧した規制と考えられるが、世界的にはより高濃度のフッ化物配合の歯磨剤が市販されている。Halpinbergerらは⁶³⁾、ドイツ人3～6歳の11名を対象にフッ素の摂取と排泄について2日間の調査を行った結果、51%以上のフッ素が排泄されること、歯磨剤からの摂取は全体の1/4にしか過ぎず、その他は食品、水、牛乳等から摂取されていることを明らかにした。従って、小児を被験者とした、より規模の大きな調査を行うことにより、国内における歯磨剤の濃度制限を上げることができれば、歯磨剤を介したう蝕の予防効果を上げることができると考えられる。

フッ素に加え、最近2つの物質が歯磨剤配合剤として注目を浴びている。1つはCasein PhosphoPeptide-Amorphous Calcium Phosphate (CPP-ACP：通称リカルデント)で、脱灰抑制効果、リン酸カルシウムの補充促進、耐酸性強化を有することで、抗う蝕性があるとされ、国内外での研究が進んでいる⁶⁴⁾。いくつかの報告はフッ素との協調作用に言及し^{65,66)}、幼若永久歯列を用いた臨床的研究では、抗う蝕作用と石灰化の促進の両者が観察されている^{67,69)}。

第一スズ塩を塩化物あるいはフッ化物として歯磨剤や含嗽剤に応用した場合、エナメル質や象牙質を摩耗から保護する作用があることが、*in vitro*^{70,72)}と*in situ*^{70,73,74)}で明らかにされている。すなわち、スズイオンが、摩耗した象牙質の表面に沈着することにより、耐酸性の高い層を形成し、脱灰しにくくすることが明らかにされている^{72,75)}。

【高齢者あるいは障害児・者の口腔衛生について】

高齢者にとって口腔内が健全であることは、QOLに直接関わる要素である⁷⁶⁾。特に歯は咀嚼や会話、そし

て容貌において極めて重要な役割を果たしている⁷⁷⁾。近年、先進国において、高齢者の歯の残存率は著しい改善が認められるだけでなく、残存した歯はクラウン、ブリッジ、インプラント等により十分に機能するようになりつつある。一方で、これらの高齢者は、その状況を維持するために、より高度な口腔ケアを望むようになってきている。しかし、医学的、精神的、社会的、経済的な弱者である、障害児・者、中途障害高齢者はこれらのケアを十分に受けられるとは限らず、健全な口腔の維持を行うことが難しい場合も多い。また、これらの患者が服用している薬剤には唾液分泌量を抑制するものもあり、う蝕や歯周病のリスクは増加することとなる^{78,79)}。従って、介助者による定期的で、かつ適切な口腔衛生習慣がなければ、これらの高齢者、有病者、障害児・者の歯科疾患リスクは増加の一途をたどることになる。

しかし、現在の日本のシステムでは、介助者は口腔衛生に関する教育や指導を受ける機会は皆無に等しく、その際に用いる歯ブラシをはじめとする家庭用歯科衛生機器、器具についても、今後の需要を考えると、その開発は遅れている^{80,81)}。AndersとDavisが⁸²⁾示しているように、日本においても知的障害児・者は健常者に比べ、口腔衛生状態が劣悪であり、未処置歯の数、歯周疾患の程度が深刻な状況にあることも事実である^{83,88)}。しかし、一方で、身体障害児の口腔衛生状態は、同年齢の健常児たちと同程度またはむしろ良好であるとの報告もなされており^{89,90)}、障害児であっても、小児期から適切な食事管理と口腔衛生管理が行われれば十分良好な口腔状態を維持できることが示されている⁸⁹⁾。しかし、スペシャルケア・ヘルスケアが必要な多くの障害者において、最も解決されていない問題の一つが口腔ケアであるとも報告されている^{91,92)}。

このような有病者、障害児・者において、う蝕や歯周疾患に対する処置やケアが十分に行われていない原因として、歯科受診の困難性だけではなく、口腔周囲の形態異常や、それに伴う機能異常、そしてそれらによって生じる口腔清掃の困難性、などが大きいと考えられており⁹¹⁾、従って、歯科専門家による介護者への適切な口腔衛生指導と指示が重要である。

【歯磨き指導＝保護者・養育者等への歯磨き指導】

小児歯科および障害児・者歯科の臨床において、患児あるいは患者は、基本的に自らの意思で歯科を受診することは稀であり、受診する意思がない患者を保護者（養育者等）が、その判断で半ば強制的に受診させることが多い。また、患者自身が歯磨き等の口腔衛生管理を行うことができない、あるいは不十分となることが多く、従って歯磨きは保護者等が、介助磨きを行うこととなり、我々

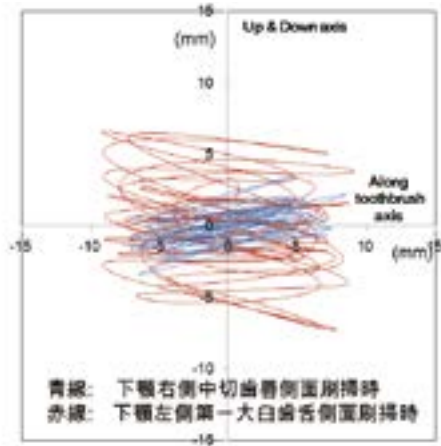


図4 下顎前歯部と下顎左側臼歯部を磨いた時の歯ブラシの動きの違い

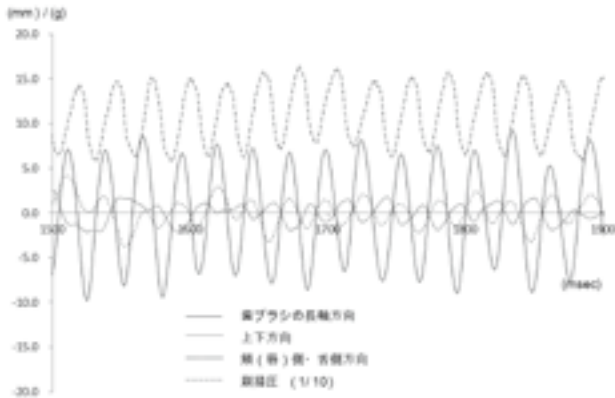


図5 実際の歯みがきサイクルの繰り返しの様子

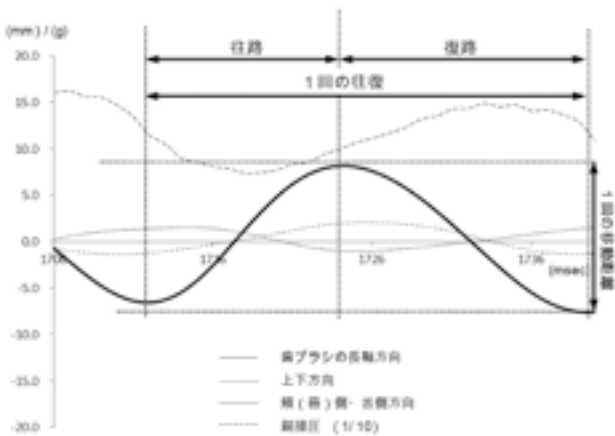


図6 実際の歯みがきサイクルの繰り返しの様子(1サイクルの拡大図)

の診療室において、口腔衛生指導の対象は、患者本人ではなく、保護者等になる。しかし、このような、他者(介助)磨きは、小児歯科、障がい者歯科のみならず、患者-家族間、施設入所者-施設職員、時として入院者-看護師など、様々なシチュエーションで行われている。この

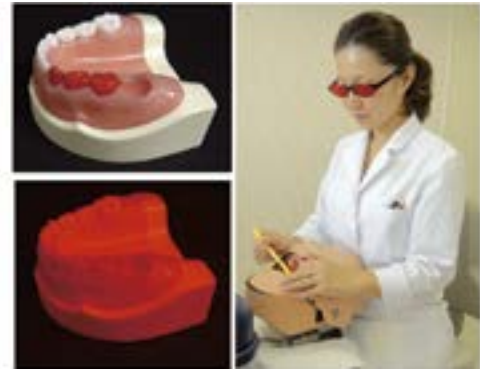


図7 人工歯垢と同色のメガネの使用により、歯みがき時に歯垢は見えない

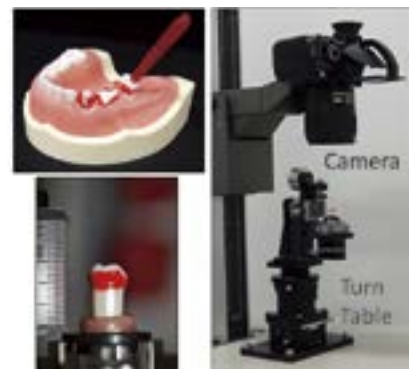


図8 刷掃後の残存人工歯垢の写真を規格化して撮影



図9 この場合、撮影した写真から乳白歯隣接面の不潔域内の残存人工歯垢を定量化する

他者(介助)磨きの指導は、診療室において、歯科医師および歯科衛生士が、患者に歯磨き指導をするのに類似しているものの、実際にそれを家庭、病院、施設等で行う際の患者の協力度を考えると、他者(介助)磨きは、自磨きとは比較にならない困難さが想定される。

保護者・養育者が小児に行う他者(介助)磨きは、おそらく保護者や養育者が自分自身の歯磨きとかなり近いのではないかと想像できる。すなわち、歯みがき時の歯ブラシの振幅、動かし方、刷掃圧は、「他者(介助)磨き=自身磨き」ではないだろうか? 低年齢の小児におけ

る歯磨きを考えるとき、小児は歯磨きされる側から自ら歯磨きする側へと成長するわけであるが、最初の歯磨きの刷り込みは、おそらく保護者や養育者による歯磨きである。その受動的経験から保護者や養育者の歯磨き運動を学び、自ら歯磨きを行っていく。このように考えると、もし小児を対象として、未だエビデンスとはなっていないものの、あるべき歯ブラシの方法があるとするれば、教育する対象は、低年齢の小児ではなく、むしろ保護者・養育者の歯ブラシ運動であるとも考えられる。従って、逆説的な言い方をすれば、低年齢の小児であれ、障害児・者であれ、高齢者であれ、他者（介助）磨きが必要な患者の口腔内の状況を改善する早道は、本人をターゲットにするよりも、保護者・養育者自身の歯磨きの改善である可能性もある。

【我々の取り組み】

このようなことを背景に当分野においては、歯磨きを2つの側面から評価する試みを始めている。1つは、動作解析の手法を用い、実際に歯ブラシがどのように動いているかを調査・研究している。図4は、歯科衛生士を被験者とし、自らの下顎中切歯唇面および下顎第一大臼歯舌側面を刷掃している時の歯ブラシの運動軌跡例を表している。赤線で示した白歯部の方が上下の動きも、歯ブラシ軸方向への動きも大きくなっている。運動の速度としては、4.2HZ（1秒に4.2往復）であり、人の意識的な繰り返しの運動の中でも最も早いものであることが明らかになっている。この際に見られる3次元方向の動きと、その際に発生する刷掃力（圧）についても同時計測を行っているが（図5）、これを詳細に見てみると（図6）、三次元的な運動方向および刷掃圧は必ずしも1方向と周期を共にしているわけではないことが明らかとなっている。

一方、他者みがきの評価方法として、人工歯冠に赤色の人工歯垢を塗布し、同色のメガネを装着した状態で歯磨きを行う実験方法を考案した。この方法は、メガネの装着により、歯の着色の有無を判断できないことから、他者（介助）磨きによる歯垢除去を評価する方法として適切である（図7）。図8に示すように、除去されずに残存した人工歯垢を規格化して撮影し、図9の場合、乳歯隣接面の残存人工歯垢をソフト上で定量化することにより、保護者・介助者の刷掃能力の評価、歯ブラシの評価などが可能となる。

このような実験を通して、小児や障害児・者、そして高齢者も含めた自身磨きと他者（介助）磨きに関するエビデンスを収集し、本人・保護者・介助者等への指導のみならず、適した歯ブラシの選択・開発など、健全な口腔の維持とQOLの向上のための研究を推進していく所存である。

【文 献】

- 1) Robinson PG, Deacon SA, Deery C, Heanue M, Walmsley AD, Worthington HV, Glenny AM, Shaw WC: Manual versus powered toothbrushing for oral health. Cochrane Database Syst Rev: CD002281, 2005.
- 2) Addy M, Griffiths G, Dummer P, Kingdom A, Shaw WC: The distribution of plaque and gingivitis and the influence of toothbrushing hand in a group of South Wales 11-12 year-old children. J Clin Periodontol, 14: 564-572, 1987.
- 3) Heanue M, Deacon SA, Deery C, Robinson PG, Walmsley AD, Worthington HV, Shaw WC: Manual versus powered toothbrushing for oral health. Cochrane Database Syst Rev: CD002281, 2003.
- 4) Needleman I, Suvan J, Moles DR, Pimlott J: A systematic review of professional mechanical plaque removal for prevention of periodontal diseases. J Clin Periodontol, 32 Suppl 6: 229-282, 2005.
- 5) Robertson NA, Wade AB: Effect of filament and density in toothbrushes. J Periodontol Res, 7: 346-350, 1972.
- 6) Gibson JA, Wade AB: Plaque removal by the Bass and Roll brushing techniques. J Periodontol, 48: 456-459, 1977.
- 7) Vowles AD, Wade AB: Importance of filament diameter when using bass brushing technique. J Periodontol, 48: 460-463, 1977.
- 8) Slot DE, Wiggelinkhuizen L, Rosema NA, Van der Weijden GA: The efficacy of manual toothbrushes following a brushing exercise: a systematic review. Int J Dent Hyg, 10: 187-197, 2012.
- 9) McDaniel TF, Miller DL, Jones RM, Davis MS, Russell CM: Effects of toothbrush design and brushing proficiency on plaque removal. Compend Contin Educ Dent, 18: 572-577, 1997.
- 10) Mintel TE, Crawford J: The search for a superior toothbrush design technology. J Clin Dent, 3: C1-4, 1992.
- 11) Cronin MJ, Dembling WZ, Low MA, Jacobs DM, Weber DA: A comparative clinical investigation of a novel toothbrush designed to enhance plaque removal efficacy. Am J Dent, 13:

- 21A-26A, 2000.
- 12) Axelsson P, Nystrom B, Lindhe J: The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *J Clin Periodontol*, 31: 749-757, 2004.
 - 13) Sharma NC, Qaqish JG, Galustians HJ, Cugini M, Thompson MC, Warren PR: Plaque removal efficacy and safety of the next generation of manual toothbrush with angled bristle technology: results from three comparative clinical studies. *Am J Dent*, 18: 3-7, 2005.
 - 14) Beals D, Ngo T, Feng Y, Cook D, Grau DG, Weber DA: Development and laboratory evaluation of a new toothbrush with a novel brush head design. *Am J Dent*, 13: 5A-14A, 2000.
 - 15) Chilton NW, Didio A, Rothner JT: Comparison of the clinical effectiveness of an electric and a standard toothbrush in normal individuals. *J Am Dent Assoc*, 64: 777-782, 1962.
 - 16) Hoover DR, Robinson HB: Effect of automatic and hand toothbrushing on gingivitis. *J Am Dent Assoc*, 65: 361-367, 1962.
 - 17) Jain Y: A comparison of the efficacy of powered and manual toothbrushes in controlling plaque and gingivitis: a clinical study. *Clinical, cosmetic and investigational dentistry*, 5: 3-9, 2013.
 - 18) Deacon SA, Glenny AM, Deery C, Robinson PG, Heanue M, Walmsley AD, Shaw WC: Different powered toothbrushes for plaque control and gingival health. *Cochrane Database Syst Rev*: CD004971, 2010.
 - 19) Sicilia A, Arregui I, Gallego M, Cabezas B, Cuesta S: A systematic review of powered vs manual toothbrushes in periodontal cause-related therapy. *J Clin Periodontol*, 29 Suppl 3: 39-54; discussion 90-31, 2002.
 - 20) Muller-Bolla M, Courson F: Toothbrushing Methods to Use in Children: a Systematic Review. *Oral Health Prev Dent*: 2013.
 - 21) Sangnes G: Effectiveness of vertical and horizontal toothbrushing techniques in the removal of plaque. II. Comparison of brushing by six-year-old children and their parents. *ASDC journal of dentistry for children*, 41: 119-123, 1974.
 - 22) Anaise JZ: The toothbrush in plaque removal. *ASDC journal of dentistry for children*, 42: 186-189, 1975.
 - 23) Rugg-Gunn AJ, Macgregor ID: A survey of toothbrushing behaviour in children and young adults. *J Periodontal Res*, 13: 382-389, 1978.
 - 24) Sundell SO, Klein H: Toothbrushing behavior in children: a study of pressure and stroke frequency. *Pediatric dentistry*, 4: 225-227, 1982.
 - 25) McClure DB: A comparison of toothbrushing techniques for the preschool child. *Journal of dentistry for children*, 33: 205-210, 1966.
 - 26) Bergstrom J, Lavstedt S: An epidemiologic approach to toothbrushing and dental abrasion. *Community Dent Oral Epidemiol*, 7: 57-64, 1979.
 - 27) Graetz C, Bielfeldt J, Wolff L, Springer C, Fawzy El-Sayed KM, Salzer S, Badri-Hoher S, Dorfer CE: Tooth Brushing Education via a Smart Software Visualization System. *J Periodontol*: 2012.
 - 28) Schlueter N, Klimek J, Ganss C: Relationship between plaque score and video-monitored brushing performance after repeated instruction--a controlled, randomised clinical trial. *Clin Oral Investig*, 17: 659-667, 2013.
 - 29) Nassar PO, Bombardelli CG, Walker CS, Neves KV, Tonet K, Nishi RN, Bombonatti R, Nassar CA: Periodontal evaluation of different toothbrushing techniques in patients with fixed orthodontic appliances. *Dental press journal of orthodontics*, 18: 76-80, 2013.
 - 30) Yankell SL, Emling RC: Laboratory interproximal access efficacy comparison of bi-level and flat bristled toothbrushes. *J Clin Dent*, 4: 128-130, 1994.
 - 31) Volpenhein DW, Handel SE, Hughes TJ, Wild J: A comparative evaluation of the in vitro penetration performance of the improved Crest complete toothbrush versus the Current Crest complete toothbrush, the Colgate Precision toothbrush and the Oral-B P40 toothbrush. *J Clin Dent*, 7: 21-25, 1996.
 - 32) Ganss C, Hardt M, Blazek D, Klimek J, Schlueter N: Effects of toothbrushing force on the mineral content and demineralized organic matrix of eroded dentine. *Eur J Oral Sci*, 117: 255-260, 2009.
 - 33) Kim KS, Yoon TH, Lee JW, Kim DJ: Interactive toothbrushing education by a smart toothbrush system via 3D visualization. *Comput Methods Programs Biomed*, 96: 125-132, 2009.

- 34) Schlueter N, Klimek J, Saleschke G, Ganss C: Adoption of a toothbrushing technique: a controlled, randomised clinical trial. *Clin Oral Investig*, 14: 99-106, 2010.
- 35) Van der Weijden GA, Timmerman MF, Danser MM, Van der Velden U: Relationship between the plaque removal efficacy of a manual toothbrush and brushing force. *J Clin Periodontol*, 25: 413-416, 1998.
- 36) Orbak R, Canakci V, Tezel A: Clinical evaluation of an electron-ionizing toothbrush with a tooth paste containing stannous fluoride in treatment of dentine hypersensitivity following periodontal surgery. *Dent Mater J*, 20: 164-171, 2001.
- 37) Kumar S, Panwar J, Vyas A, Sharma J, Goutham B, Duraiswamy P, Kulkarni S: Tooth cleaning frequency in relation to socio-demographic variables and personal hygiene measures among school children of Udaipur district, India. *Int J Dent Hyg*, 9: 3-8, 2011.
- 38) Ganss C, von Hinckeldey J, Tolle A, Schulze K, Klimek J, Schlueter N: Efficacy of the stannous ion and a biopolymer in toothpastes on enamel erosion/abrasion. *J Dent*, 40: 1036-1043, 2012.
- 39) van der Weijden GA, Timmerman MF, Reijerse E, Snoek CM, van der Velden U: Toothbrushing force in relation to plaque removal. *J Clin Periodontol*, 23: 724-729, 1996.
- 40) Fraleigh CM, Mc Elhaney JH, Heiser RA: Toothbrushing force study. *J Dent Res*, 46: 209-214, 1967.
- 41) Boyd RL, McLey L, Zahradnik R: Clinical and laboratory evaluation of powered electric toothbrushes: in vivo determination of average force for use of manual and powered toothbrushes. *J Clin Dent*, 8: 72-75, 1997.
- 42) Burgett FG, Ash MM, Jr.: Comparative study of the pressure of brushing with three types of toothbrushes. *J Periodontol*, 45: 410-413, 1974.
- 43) Ganss C, Schlueter N, Preiss S, Klimek J: Tooth brushing habits in uninstructed adults--frequency, technique, duration and force. *Clin Oral Investig*, 13: 203-208, 2009.
- 44) Addy M, Hunter ML: Can tooth brushing damage your health? Effects on oral and dental tissues. *Int Dent J*, 53 Suppl 3: 177-186, 2003.
- 45) Smith WA, Marchan S, Rafeek RN: The prevalence and severity of non-carious cervical lesions in a group of patients attending a university hospital in Trinidad. *J Oral Rehabil*, 35: 128-134, 2008.
- 46) Brandini DA, de Sousa AL, Trevisan CI, Pinelli LA, do Couto Santos SC, Pedrini D, Panzarini SR: Noncarious cervical lesions and their association with toothbrushing practices: in vivo evaluation. *Oper Dent*, 36: 581-589, 2011.
- 47) Wiegand A, Burkhard JP, Eggmann F, Attin T: Brushing force of manual and sonic toothbrushes affects dental hard tissue abrasion. *Clin Oral Investig*: 2012.
- 48) Wiegand A, Schwerzmann M, Sener B, Magalhaes AC, Roos M, Ziebolz D, Imfeld T, Attin T: Impact of toothpaste slurry abrasivity and toothbrush filament stiffness on abrasion of eroded enamel - an in vitro study. *Acta Odontol Scand*, 66: 231-235, 2008.
- 49) Wiegand A, Kuhn M, Sener B, Roos M, Attin T: Abrasion of eroded dentin caused by toothpaste slurries of different abrasivity and toothbrushes of different filament diameter. *J Dent*, 37: 480-484, 2009.
- 50) Franzo D, Philpotts CJ, Cox TF, Joiner A: The effect of toothpaste concentration on enamel and dentine wear in vitro. *J Dent*, 38: 974-979, 2010.
- 51) Wiegand A, Begic M, Attin T: In vitro evaluation of abrasion of eroded enamel by different manual, power and sonic toothbrushes. *Caries Res*, 40: 60-65, 2006.
- 52) Ganss C, Schlueter N, Hardt M, von Hinckeldey J, Klimek J: Effects of toothbrushing on eroded dentine. *Eur J Oral Sci*, 115: 390-396, 2007.
- 53) Parry J, Harrington E, Rees GD, McNab R, Smith AJ: Control of brushing variables for the in vitro assessment of toothpaste abrasivity using a novel laboratory model. *J Dent*, 36: 117-124, 2008.
- 54) Van der Weijden FA, Campbell SL, Dorfer CE, Gonzalez-Cabezas C, Slot DE: Safety of oscillating-rotating powered brushes compared to manual toothbrushes: a systematic review. *J Periodontol*, 82: 5-24, 2011.
- 55) Robinson PG: The safety of oscillating-rotating powered toothbrushes. *Evid Based Dent*, 12: 69, 2011.
- 56) Van der Weijden FA, Timmerman MF, Snoek IM, Reijerse E, Van der Velden U:

- Toothbrushing duration and plaque removing efficacy of electric toothbrushes. *Am J Dent*, 9 Spec No: S31-36, 1996.
- 57) Saxer UP, Barbakow J, Yankell SL: New studies on estimated and actual toothbrushing times and dentifrice use. *J Clin Dent*, 9: 49-51, 1998.
- 58) Weinstein P, Milgrom P, Melnick S, Beach B, Spadafora A: How effective is oral hygiene instruction? Results after 6 and 24 weeks. *Journal of public health dentistry*, 49: 32-38, 1989.
- 59) Grossman E, van der Weijden GA: Citric acid as an adjunct to periodontal surgery. *Ned Tijdschr Tandheelkd*, 100: 11-15, 1993.
- 60) Dentino AR, Derderian G, Wolf M, Cugini M, Johnson R, Van Swol RL, King D, Marks P, Warren P: Six-month comparison of powered versus manual toothbrushing for safety and efficacy in the absence of professional instruction in mechanical plaque control. *J Periodontol*, 73: 770-778, 2002.
- 61) Hefti AF, Preshaw PM: Examiner alignment and assessment in clinical periodontal research. *Periodontology 2000*, 59: 41-60, 2012.
- 62) Walsh T, Worthington HV, Glenny AM, Appelbe P, Marinho VC, Shi X: Fluoride toothpastes of different concentrations for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev*: CD007868, 2010.
- 63) Haftenberger M, Viergutz G, Neumeister V, Hetzer G: Total fluoride intake and urinary excretion in German children aged 3-6 years. *Caries Res*, 35: 451-457, 2001.
- 64) Cross KJ, Huq NL, Reynolds EC: Casein phosphopeptides in oral health--chemistry and clinical applications. *Current pharmaceutical design*, 13: 793-800, 2007.
- 65) Cochrane NJ, Saranathan S, Cai F, Cross KJ, Reynolds EC: Enamel subsurface lesion remineralisation with casein phosphopeptide stabilised solutions of calcium, phosphate and fluoride. *Caries Res*, 42: 88-97, 2008.
- 66) Reynolds EC, Cai F, Cochrane NJ, Shen P, Walker GD, Morgan MV, Reynolds C: Fluoride and casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate. *J Dent Res*, 87: 344-348, 2008.
- 67) Andersson A, Skold-Larsson K, Hallgren A, Petersson LG, Twetman S: Effect of a dental cream containing amorphous cream phosphate complexes on white spot lesion regression assessed by laser fluorescence. *Oral Health Prev Dent*, 5: 229-233, 2007.
- 68) Robertson MA, Kau CH, English JD, Lee RP, Powers J, Nguyen JT: MI Paste Plus to prevent demineralization in orthodontic patients: a prospective randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 140: 660-668, 2011.
- 69) Brochner A, Christensen C, Kristensen B, Tranaeus S, Karlsson L, Sonnesen L, Twetman S: Treatment of post-orthodontic white spot lesions with casein phosphopeptide-stabilised amorphous calcium phosphate. *Clin Oral Investig*, 15: 369-373, 2011.
- 70) Hooper SM, Newcombe RG, Faller R, Eversole S, Addy M, West NX: The protective effects of toothpaste against erosion by orange juice: studies in situ and in vitro. *J Dent*, 35: 476-481, 2007.
- 71) Schlueter N, Klimek J, Ganss C: Effect of stannous and fluoride concentration in a mouth rinse on erosive tissue loss in enamel in vitro. *Arch Oral Biol*, 54: 432-436, 2009.
- 72) Ganss C, Lussi A, Sommer N, Klimek J, Schlueter N: Efficacy of fluoride compounds and stannous chloride as erosion inhibitors in dentine. *Caries Res*, 44: 248-252, 2010.
- 73) Ganss C, Lussi A, Grunau O, Klimek J, Schlueter N: Conventional and anti-erosion fluoride toothpastes: effect on enamel erosion and erosion-abrasion. *Caries Res*, 45: 581-589, 2011.
- 74) Huysmans MC, Jager DH, Ruben JL, Unk DE, Klijn CP, Vieira AM: Reduction of erosive wear in situ by stannous fluoride-containing toothpaste. *Caries Res*, 45: 518-523, 2011.
- 75) Hara AT, Lippert F, Zero DT: Interplay between experimental dental pellicles and stannous-containing toothpaste on dental erosion-abrasion. *Caries Res*, 47: 325-329, 2013.
- 76) Andersson K, Nordenram G: Attitudes to and perceptions of oral health and oral care among community-dwelling elderly residents of Stockholm, Sweden: an interview study. *Int J Dent Hyg*, 2: 8-18, 2004.
- 77) Hebling E, Pereira AC: Oral health-related quality of life: a critical appraisal of assessment tools used in elderly people. *Gerodontology*, 24: 151-161, 2007.

- 78) Chiappelli F, Bauer J, Spackman S, Prolo P, Edgerton M, Armenian C, Dickmeyer J, Harper S: Dental needs of the elderly in the 21st century. *General dentistry*, 50: 358-363, 2002.
- 79) Locker D: Dental status, xerostomia and the oral health-related quality of life of an elderly institutionalized population. *Spec Care Dentist*, 23: 86-93, 2003.
- 80) Wilson KI: Treatment accessibility for physically and mentally handicapped people--a review of the literature. *Community Dent Health*, 9: 187-192, 1992.
- 81) Waldman HB, Perlman SP, Swerdloff M: What if dentists did not treat people with disabilities? *ASDC journal of dentistry for children*, 65: 96-101, 1998.
- 82) Anders PL, Davis EL: Oral health of patients with intellectual disabilities: a systematic review. *Spec Care Dentist*, 30: 110-117, 2010.
- 83) O'Donnell JP, Cohn MM, Sr.: Dental care for the institutionalized retarded individual. *The Journal of pedodontics*, 9: 3-38, 1984.
- 84) Strauss RP, Hairfield WM, George MC: Disabled adults in sheltered employment: an assessment of dental needs and costs. *American journal of public health*, 75: 661-663, 1985.
- 85) Cumella S, Ransford N, Lyons J, Burnham H: Needs for oral care among people with intellectual disability not in contact with Community Dental Services. *Journal of intellectual disability research : JIDR*, 44 (Pt 1): 45-52, 2000.
- 86) Tiller S, Wilson KI, Gallagher JE: Oral health status and dental service use of adults with learning disabilities living in residential institutions and in the community. *Community Dent Health*, 18: 167-171, 2001.
- 87) Sakellari D, Arapostathis KN, Konstantinidis A: Periodontal conditions and subgingival microflora in Down syndrome patients. A case-control study. *J Clin Periodontol*, 32: 684-690, 2005.
- 88) Oredugba FA: Oral health condition and treatment needs of a group of Nigerian individuals with Down syndrome. *Down's syndrome, research and practice : the journal of the Sarah Duffen Centre / University of Portsmouth*, 12: 72-76, 2007.
- 89) Kinirons MJ: Increased salivary buffering in association with a low caries experience in children suffering from cystic fibrosis. *J Dent Res*, 62: 815-817, 1983.
- 90) Gizani S, Declerck D, Vinckier F, Martens L, Marks L, Goffin G: Oral health condition of 12-year-old handicapped children in Flanders (Belgium). *Community Dent Oral Epidemiol*, 25: 352-357, 1997.
- 91) Crall JJ: Improving oral health for individuals with special health care needs. *Pediatric dentistry*, 29: 98-104, 2007.
- 92) Lewis CW: Dental care and children with special health care needs: a population-based perspective. *Academic pediatrics*, 9: 420-426, 2009.